



TUGAS AKHIR - TE 141599

Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi dengan Rotor Terpasang Berdasarkan *Zero Crossing Point*

Hanif Fakhruddin
NRP 07111440000070

Dosen Pembimbing
Danar Fahmi, ST., MT.
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



TUGAS AKHIR - TE 141599

Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi dengan Rotor Terpasang Berdasarkan *Zero Crossing Point*

Hanif Fakhruddin
NRP 07111440000070

Dosen Pembimbing
Danar Fahmi, ST., MT.
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT- TE 141599

*Identification of Induction Motor Wound Failure with
Attached Rotor Based on Zero Crossing Point*

Hanif Fakhruddin
NRP 07111440000070

Advisor
Danar Fahmi, ST., MT.
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

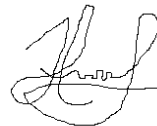
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi maupun keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi dengan Rotor Terpasang Berdasarkan Zero Crossing Point**” adalah benar-benar hasil karya mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pusaka.

Apabila pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Hanif Fakhruddin
NRP. 07111440000070

**IDENTIFIKASI KERUSAKAN BELITAN MOTOR INDUKSI
DENGAN ROTOR TERPASANG BERDASARKAN ZERO
CROSSING POINT**



TUGAS AKHIR

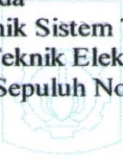
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember



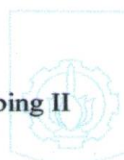
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

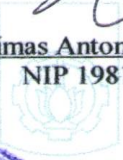
Danar Fahmi, ST., MT
NIP 19890925 201404 1 002

Dosen Pembimbing II



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
NIP 19810905 200501 1 002



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember



Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi dengan Rotor Terpasang Berdasarkan *Zero Crossing Point*

Nama Mahasiswa : Hanif Fakhruddin
Nomor Pokok : 0711 1440000 070
Dosen Pembimbing 1 : Daniar Fahmi, S.T., M.T.
NIP : 198909252014041002
Dosen Pembimbing 2 : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
NIP : 198109052005011002

ABSTRAK

Salah satu penyebab awal dari kerusakan isolasi belitan adalah adanya arus hubung singkat yang terjadi antar lilitan (*turn-to-turn*) pada suatu belitan. Arus hubung singkat tersebut akan menciptakan titik-titik panas yang jika dibiarkan akan menyebabkan kegagalan antar belitan, antarfasa, dan antarbelitan dengan *ground*. Tes surja merupakan tes yang dapat mendeteksi kegagalan isolasi antar *turn* dengan menggunakan tegangan surja yang diinjeksikan pada belitan stator motor. Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian tes surja terhadap motor induksi dengan rotor terpasang dalam keadaan normal, keadaan *turn faults*, dan penambahan resistor pada salah satu *turn fault*. Hasil data pengujian tes surja yang diperoleh dianalisis berdasarkan metode *zero crossing point*. Metode ini melihat titik dimana tegangan surja berubah dari nilai positif ke nilai negatif dan sebaliknya atau saat tegangan surja mencapai tegangan 0V setelah dilepaskan. Nilai *zero crossing point* saat *turn fault* dan penambahan resistor dibandingkan dengan nilai *zero crossing point* saat keadaan normal untuk mengetahui presentase eror yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh dari variasi *turn fault* yaitu semakin besar nilai *turn fault* yang digunakan presentase eror *zero crossing point* cenderung semakin besar. Sedangkan hasil yang diperoleh dari variasi resistor yaitu semakin besar resistor yang digunakan, semakin kecil presentase eror *zero crossing point*.

Kata kunci : isolasi pada motor induksi, *turn-to-turn faults*, tes surja dengan rotor terpasang, *zero crossing point*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Identification of Induction Motor Wound Failure with Attached Rotor Based on Zero Crossing Point

Student's Name : Hanif Fakhruddin
NRP : 0711 1440000 070
Supervisor 1 : Daniar Fahmi, S.T., M.T.
NIP : 198909252014041002
Supervisor 2 : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
NIP : 198109052005011002

ABSTRACT

One of the earliest causes of defective insulation winding is the presence of short-circuit current that occurs between turns (turn-to-turn) on a winding. The short-circuited currents will create hot spots which, if left unchecked, will cause failure between winding, between phases and between windings with ground. Surge test is a test that can detect the failure of isolation between turns by using surge voltage injected in the stator motor windings. In this final project, it was conducted surge test to induction motor with rotor insertion in normal condition, turn faults state, and addition of resistor at one of turn fault. The results of test data of surge test obtained were analyzed based on zero crossing point method. This method looks at the point at which the surge voltage changes from a positive value to a negative value and vice versa or when the surge voltage reaches a 0V voltage after it is released. The zero crossing point value at the turn fault and the addition of the resistor is compared with the zero crossing point value during normal circumstances to determine the percentage of errors produced. The results obtained from the turn fault variation are, the greater the value of turn fault used, the error percentage of zero crossing point tend to be greater. While the results obtained from the variation of the resistor are, the greater the value of resistor used, the smaller error percentage of zero crossing point produced.

Key Words : isolation of induction motor, turn-to-turn faults, surge test with attached rotor, zero crossing point.

This page was intentionally emptied

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb.

Puji serta sukur saya panjatkan atas kehadiran Allah S.W.T. karena berkat rahmat, ijin, ridho, nikmat, petunjuk, serta naungan Allah penulis mampu menyelesaikan serangkaian proses dan buku Tugas Akhir yang berjudul Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi dengan Rotor Terpasang Berdasarkan Zero Crossing Point ini. Solawat serta salam penulis junjungkan atas kehadiran Nabi Muhammad SAW, berkat Beliau islam mampu tersebar hingga tanah air Indonesia.

Serangkaian proses tugas akhir dapat terlaksana dari mata kuliah Pra-Tugas Akhir pada semester 7 hingga saat ini tidak lepas dari bantuan, masukan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis pribadi ingin menyampaikan terima kasih kepada,

1. Allah S.W.T atas rahmat, ijin, ridho, nikmat, petunjuk, serta naunganNya.
2. Orang tua saya yang selalu mendukung, mengasahi, meyemangati, dan mendoakan saya untuk menjadi orang yang bermanfaat sepanjang hidup saya.
3. Bapak Daniar Fahmi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I saya atas arahan, masukan, penjelasan, keramahan, dan kerendah hatian beliau selama membimbing saya dalam mengerjakan tugas akhir.
4. Bapak Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing II saya atas arahan, masukan, penjelasan, keramahan, dan kerendah hatian beliau selama membimbing saya dalam mengerjakan tugas akhir.
5. Dhanang Trilaksono, Restu Wicaksono, Prasetyo Tri Anggoro, M. Faisal Firdaus, Achmad I. Shodek selaku teman seperjuangan topik tes surja
6. M. Farid Anshori karena sudah banyak membantu dan memberikan masukan selama tugas akhir ini.

Penulis hanya manusia biasa yang tidak luput dari kesalahan. Apabila ada kesalahan, kekeliruan, dan kekurangan dalam tugas akhir ini kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan penelitian seputar motor induksi di Teknik Elektro ITS.

Surabaya, 27 Mei 2018
Penulis,

(Hanif Fakhruddin)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Metodologi.....	2
1.5. Sistematika	3
1.6. Manfaat	4
1.6.1 Untuk Institusi.....	4
1.6.2. Untuk Bidang Ilmu Pengetahuan.....	4
BAB II	4
2.1. Isolasi Pada Motor Induksi	5
2.2. Kegagalan Isolasi Pada Belitan Stator Motor	6
2.3. Tes Surja	7
2.4. Pembangkit Tegangan Tinggi <i>DC</i>	9
2.5. Pengaruh Rotor Terhadap Tes Surja	9
2.6. Standar Pengujian Tegangan Surja	11
2.7. <i>Zero Crossing Point</i>	12
BAB III	13
3.1. Perancangan Sistem	13
3.2. Perancangan Alat dan Objek Uji	14
3.2.1. Perancangan Motor Induksi.....	14
3.2.2. Perancangan Modul Pembangkit Tegangan Tinggi <i>DC</i>	18
3.2.3. Perancangan Modul Tes Surja	19
3.2.4. Verivolt Entube DE-HB dan NI 9223	20
3.2.5. <i>LABView</i>	21
3.2.6. Perancangan Gelombang Surja	22
3.2.6.1. Pengujian <i>Rise Time</i> Gelombang.....	22
3.2.6.2. Pengaturan Tegangan Puncak	23
BAB IV	25

4.1. Pengujian Variasi Sudut Rotor pada Motor Induksi.....	25
4.1.1. Pengujian Variasi Sudut Rotor pada Fasa U	26
4.1.2. Pengujian Variasi Sudut Rotor pada Fasa V	29
4.2. Pengujian Variasi <i>Turn fault</i>	32
4.2.1. Pengujian Variasi <i>Turn fault</i> pada Fasa U.....	32
4.2.1.1. Hasil Nilai Rata-Rata <i>Zero Crossing Point</i>	33
4.2.1.2. Hasil Nilai Maksimum <i>Zero Crossing Point</i>	37
4.2.1.3. Hasil Nilai Minimum <i>Zero Crossing Point</i>	41
4.2.1.4. Identifikasi Kerusakan Variasi <i>Turn fault</i> pada Fasa U....	45
4.2.2. Pengujian Variasi <i>Turn fault</i> pada Fasa V.....	47
4.2.2.1. Hasil Nilai Rata-Rata <i>Zero Crossing Point</i>	48
4.2.2.2. Hasil Nilai Maksimum <i>Zero Crossing Point</i>	52
4.2.2.3. Hasil Nilai Minimum <i>Zero Crossing Point</i>	56
4.2.2.4. Identifikasi Kerusakan Variasi <i>Turn fault</i> pada Fasa V....	60
4.3. Pengujian Tes Surja pada <i>Turn fault</i> 5-40 dengan Penambahan Resistor.....	63
4.3.1. Hasil Nilai Rata-Rata <i>Zero Crossing Point</i>	64
4.3.2. Hasil Nilai Maksimum <i>Zero Crossing Point</i>	68
4.3.3. Hasil Nilai Minimum <i>Zero Crossing Point</i>	71
4.3.4. Identifikasi Kerusakan Variasi Resistor pada <i>Turn fault</i> 5-40	75
BAB V.....	77
5.1. Kesimpulan	77
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN A <i>Data Sheet</i>	A-1
LAMPIRAN B Program Arduino	B-1
RIWA YAT HIDUP PENULIS	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem isolasi pada mesin listrik berdasarkan NEMA	5
Gambar 2.2. Rangkaian ekuivalen tes surja.....	7
Gambar 2.3. Gambar skematik konfigurasi rangkaian tes surja	8
Gambar 2.4. Gambar rangkaian Kaskade Greinacher 3 tingkat	9
Gambar 2.5. Gambar respon tes tegangan surja pada stator motor induksi dengan rotor terpasang	10
Gambar 2.6. Respon tes tegangan surja pada stator motor induksi dengan rotor terpasang pada dua sudut rotor yang berbeda.....	11
Gambar 2.7. Konsep <i>zero crossing point</i>	12
Gambar 3.1. Alur diagram pengujian tugas akhir	13
Gambar 3.2. Kondisi Pengujian Tes Surja	13
Gambar 3.3. Ilustrasi belitan stator motor induksi dengan tambahan external tab	16
Gambar 3.4. Ilustrasi belitan stator motor induksi dengan tambahan external tab	16
Gambar 3.5. Motor induksi 3 fasa dengan <i>external tab</i>	17
Gambar 3.6. Ilustrasi rotor dengan perputaran sudut rotor	18
Gambar 3.7. Modul pembangkit tegangan tinggi <i>DC</i>	19
Gambar 3.8. Modul <i>switch</i> tes surja.....	20
Gambar 3.9. (a) NI 9223 (b) Verivolt Entube DE-HB	21
Gambar 3.10. (a) <i>Block diagram</i> (b) Tampilan gelombang surja	22
Gambar 3.11. <i>Rise time</i> gelombang surja.....	23
Gambar 4.1. Waktu <i>zero crossing point</i> pada t_1 , t_2 , dan t_3	26
Gambar 4.2. Hasil waktu <i>zero crossing point</i> pada motor induksi fasa U dalam kondisi normal (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	28
Gambar 4.3. Hasil waktu <i>zero crossing point</i> pada motor induksi fasa V dalam kondisi normal (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	31
Gambar 4.4. Respon tes surja dalam kondisi normal dan variasi <i>turn fault</i> pada fasa U	33
Gambar 4.5. Plot grafik nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> fasa U (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3	34
Gambar 4.6. Grafik persentase eror nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> fasa U (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	37
Gambar 4.7. Plot grafik nilai maksimum <i>zero crossing point</i> fasa U (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3	38
Gambar 4.8. Grafik persentase eror nilai maksimum <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> fasa U (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	41

Gambar 4.9. Plot grafik nilai minimum <i>zero crossing point</i> fasa U (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3	42
Gambar 4.10. Grafik persentase eror nilai minimum <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> fasa U (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	45
Gambar 4.11. Respon tes surja dalam kondisi normal dan variasi <i>turn fault</i> pada fasa V	48
Gambar 4.12. Plot grafik nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> fasa V (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3	49
Gambar 4.13. Grafik persentase eror nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> fasa V (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	52
Gambar 4.14. Plot grafik nilai maksimum <i>zero crossing point</i> fasa V (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3	53
Gambar 4.15. Grafik persentase eror nilai maksimum <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> fasa V (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	56
Gambar 4.16. Plot grafik nilai minimum <i>zero crossing point</i> fasa V (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3	57
Gambar 4.17. Grafik persentase eror nilai minimum <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> fasa V (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	60
Gambar 4.18. Respon tes surja dalam kondisi normal dan variasi resistor	64
Gambar 4.19. Plot grafik nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> penambahan resistor pada <i>turn fault</i> 5-40 dan normal (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	65
Gambar 4.20. Grafik persentase eror nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> variasi resistor (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	67
Gambar 4.21. Plot grafik nilai maksimum <i>zero crossing point</i> penambahan resistor pada <i>turn fault</i> 5-40 dan normal (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	69
Gambar 4.22. Grafik persentase eror nilai maksimum <i>zero crossing point</i> variasi resistor (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	71
Gambar 4.23. Plot grafik nilai minimum <i>zero crossing point</i> penambahan resistor pada <i>turn fault</i> 5-40 dan normal (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	72
Gambar 4.24. Grafik persentase eror nilai minimum <i>zero crossing point</i> variasi resistor (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	74

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi Motor Induksi.....	14
Tabel 3.2. Variasi <i>turn fault</i> dan resistor.....	15
Tabel 3.3. Nilai Tegangan Puncak	24
Tabel 4.1. Nilai <i>zero crossing point</i> t_1 , t_2 , dan t_3 motor induksi fasa U dalam kondisi normal (a) nilai rata-rata (b) nilai maksimum (c) nilai minimum.....	26
Tabel 4.2. Nilai <i>zero crossing point</i> t_1 , t_2 , dan t_3 motor induksi fasa V dalam kondisi normal (a) nilai rata-rata (b) nilai maksimum (c) nilai minimum.....	29
Tabel 4.3. Nilai induktansi motor pada fasa U dan V dengan variasi sudut rotor	32
Tabel 4.4. Hasil perata-rataan nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> pada fasa U	35
Tabel 4.5. Persentase eror nilai rata-rata <i>zero crossing point turn fault</i> terhadap kondisi normal pada fasa U.....	35
Tabel 4.6. Hasil perata-rataan nilai maksimum <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> pada fasa U	38
Tabel 4.7. Persentase eror nilai maksimum <i>zero crossing point turn fault</i> terhadap kondisi normal pada fasa U.....	38
Tabel 4.8. Hasil perata-rataan nilai minimum <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> pada fasa U	42
Tabel 4.9. Persentase eror nilai minimum <i>zero crossing point turn fault</i> terhadap kondisi normal pada fasa U.....	43
Tabel 4.10. Hasil Lulus/Tidak Variasi <i>Turn fault</i> pada Fasa U (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3	46
Tabel 4.11. Hasil perata-rataan nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> pada fasa V	50
Tabel 4.12. Persentase eror nilai rata-rata <i>zero crossing point turn fault</i> terhadap kondisi normal pada fasa V.....	50
Tabel 4.13. Hasil perata-rataan nilai maksimum <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> pada fasa V	54
Tabel 4.14. Persentase eror nilai maksimum <i>zero crossing point turn fault</i> terhadap kondisi normal pada fasa V.....	54
Tabel 4.15. Hasil perata-rataan nilai minimum <i>zero crossing point</i> variasi <i>turn fault</i> pada fasa V	57
Tabel 4.16. Persentase eror nilai minimum <i>zero crossing point turn fault</i> terhadap kondisi normal pada fasa V.....	57

Tabel 4.17. Hasil Lulus/Tidak Variasi <i>Turn fault</i> pada Fasa V (a) t ₁ (b) t ₂ (c) t ₃	61
Tabel 4.18. Nilai induktansi motor induksi variasi <i>turn fault</i> (a) fasa U (b) fasa V.	63
Tabel 4.19. Hasil perata-rataan nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> variasi resistor.....	39
Tabel 4.20. Persentase eror nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> variasi resistor	40
Tabel 4.21. Hasil perata-rataan nilai maksimum <i>zero crossing point</i> variasi resistor.....	69
Tabel 4.22. Persentase eror nilai maksimum <i>zero crossing point</i> variasi resistor	70
Tabel 4.23. Hasil perata-rataan nilai minimum <i>zero crossing point</i> variasi resistor.....	72
Tabel 4.24. Persentase eror nilai minimum <i>zero crossing point</i> variasi resistor	73
Tabel 4.25. Hasil Lulus/Tidak Variasi Resistor (a) t ₁ (b) t ₂ (c) t ₃	75

Bab I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi adalah salah satu jenis mesin listrik yang sudah umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan khususnya keperluan produksi industri. Motor induksi perlu dijaga kondisinya agar dapat bekerja secara optimal dan berumur panjang. Tindakan pemeliharaan sangatlah diperlukan untuk menjaga kondisi dan mengetahui kondisi terkini dari motor induksi. Tindakan tersebut dapat mencegah motor induksi mengalami kegagalan saat motor induksi tersebut beroperasi. Isolasi merupakan komponen yang tidak terpisahkan pada motor induksi. Tujuan dari isolasi tersebut adalah untuk mencegah arus mengalir diantara konduktor-konduktor di dalam belitan mesin dan untuk mencegah terjadinya arus hubungan singkat antar belitan fasa dan belitan dengan *ground*.

Kegagalan isolasi belitan stator pada motor induksi dapat disebabkan karena faktor usia, faktor listrik, faktor mekanis, faktor panas, dan faktor lingkungan. Faktor listrik merupakan penyebab terjadinya short circuit antar lilitan dalam satu belitan. *Short circuit* antar lilitan akan menciptakan titik-titik panas yang berimbas penurunan nilai isolasi pada turn yang berdekatan sampai keseluruhan belitan mengalami kegagalan. Kegagalan jenis ini tidak dapat dideteksi melalui dengan tes tahanan isolasi ataupun *high-potential test*, namun *turn-to-turn faults* dapat deteksi dengan tes surja [1].

Tes surja adalah tes yang dilakukan secara *offline* atau saat kondisi motor tidak beroperasi. Tes surja tidak akan merusak belitan karena durasinya yang sangat singkat. Meskipun begitu tes surja menggunakan tegangan yang cukup tinggi sehingga isolasi dapat tembus dan arcing dapat diamati. Meskipun tingkat isolasi belitan tersebut sudah rendah, namun tes surja tidak akan menurunkan nilai dari isolasi itu sendiri [2]. Tes surja biasanya dilakukan dalam keadaan rotor tidak terpasang, namun hal tersebut kurang merepresentasikan kondisi nyata saat motor induksi beroperasi. Tes surja dengan rotor terpasang mempunyai hasil yang berbeda dengan tes surja dengan rotor tidak terpasang. Hal ini disebabkan oleh nilai induktansi (L) pada motor induksi yang berbeda antara dengan rotor tidak terpasang dan rotor terpasang [3]. Pada tugas akhir sebelumnya membuktikan bahwa respon gelombang surja tanpa rotor dan dengan rotor terpasang memiliki hasil yang berbeda. Nilai *zero crossing point*

yang dihasilkan pada gelombang surja dengan rotor terpasang lebih sedikit daripada tanpa rotor terpasang. Penelitian sebelumnya hanya melihat nilai *zero crossing point* pada kondisi motor normal saja tidak dengan *turn-to-turn faults*[4]. Pada tugas akhir ini dilakukan tes surja untuk mengidentifikasi kerusakan beitan motor dengan rotor terpasang sehingga dapat diperoleh hasil yang membedakan motor induksi yang mengalami *turn-to-turn faults* dan motor induksi yang normal berdasarkan *zero crossing point*. Harapan dari tugas akhir ini adalah hasil yang diperoleh dapat berguna dan diterapkan pada industri-indsutri yang menggunakan motor induksi. Pihak-pihak tersebut dapat mengetahui kerusakan belitan pada motor induksi dan dapat dilakukan tindakan pencegahan serta penanggulangan sehingga tidak terjadi kerusakan lebih jauh.

1.2 Rumusan Masalah

Pengaruh pemasangan rotor motor induksi pada tes surja sangatlah berbeda dengan rotor tidak terpasang. Posisi sudut dari rotor juga berpengaruh terhadap hasil tes surja [3-4]. Terlebih lagi jika terjadi *turn-to-turn faults* maka hasil dari tes surja juga berbebdba [4]. Oleh sebab itu pada tugas akhir ini dilakukan pengujian tes surja terhadap motor induksi dengan variasi posisi sudut rotor dan besar *turn-to-turn faults*. Hasil gelombang setiap percobaan tes surja yang diperoleh dianalisa berdasarkan *zero corssing point* sehingga dapat dibandingkan hasil gelombang tes surja antara motor normal dengan motor yang mengalami *turn-to-turn faults*. Batasan titik *zero crossing point* adalah t_1 , t_2 , dan t_3 .

1.3 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui perbedaan hasil gelombang tes surja dianalisis berdasarkan *zero crossing point* antara motor induksi normal dan motor induksi yang mengalami *turn-to-tum faults* dengan rotor terpasang.

1.4 Metodologi

Alat – alat yang digunakan pada tugas akhir ini antara lain pembangkit tegangan tinggi DC, alat tes surja, motor induksi 3 fasa dengan *external tabs*, arduino uno, dan LabVIEW (*Laboratory Visual Instrument Engineering Workbench*). Pembangkit tegangan DC digunakan sebagai sumber tegangan untuk alat tes surja. Alat tes surja merupakan alat yang mampu menghasilkan tegangan surja untuk

diinjeksikan ke belitan motor induksi. Alat tes surja tersebut mempunyai dua saklar dimana penyalanya dikendalikan oleh arduino uno. Hasil tes surja tersebut akan direkam oleh perangkat lunak komputer akusisi data perekam respon surja yaitu *LabVIEW*. Pengujian motor induksi dengan rotor terpasang akan dilakukan dalam dua kondisi. Kondisi pertama yaitu motor induksi dalam keadaan normal dengan variasi besar sudut rotor. Sudut rotor yang digunakan mempunyai rentang dari $0^0 - 360^0$ dengan kenaikan sudut rotor setiap 45^0 [4]. Kondisi kedua yaitu motor induksi dalam keadaan *turn-to-turn faults* serta penambahan resistor pada salah satu *turn fault* dengan variasi besar rotor yang sama.

Data hasil uji tes surja yang diperoleh dianalisis berdasarkan metode *zero crossing point*. Metode ini melihat titik dimana tegangan surja berubah dari nilai positif ke nilai negatif dan sebaliknya atau saat tegangan surja mencapai tegangan 0V setelah dilepaskan. Hasil waktu yang diperoleh akan diolah dan dilihat pengaruh *turn-to-turn faults* pada motor induksi dengan rotor terpasang terhadap tes surja. Batasan titik *zero crossing point* adalah t_1 , t_2 , dan t_3 .

1.5 Sistematika

Sistematika yang digunakan dalam tugas akhir berupa penelitian ini terbagi dalam beberapa tahap. Sistematika yang pertama adalah bagian pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang tugas akhir, permasalahan yang ada pada motor induksi dan cara mengerjakan permasalahan tersebut, tujuan dan manfaat dari tugas akhir, dan sistematika penulisan tugas akhir. Sistematika yang kedua berupa dasar teori yang menjelaskan konsep-konsep dan ilmu dasar pendukung tugas akhir ini. Dasar teori tersebut juga berisikan hasil penelitian terkini yang mampu menunjang hasil analisa tugas akhir. Sistematika yang ketiga adalah bab pengujian. Bab ini menjelaskan langkah-langkah pengujian, peralatan perangkat lunak dan perangkat keras yang digunakan, dan parameter-parameter variabel yang digunakan dalam pengujian. Sistematika yang ke empat adalah bab analisis. Bab ini menjabarkan dan menganalisis hasil uji coba yang telah didapat pada penelitian tugas akhir ini. Hasil uji coba yang dianalisis adalah membandingkan respon tes surja pada motor induksi 3 fasa dengan rotor terpasang dalam keadaan normal dan dalam keadaan *turn-to-turn faults*. Sistematika yang kelima adalah bagian penutup yang berisi kesimpulan dan saran untuk tugas akhir ini.

1.6 Manfaat

1.6.1 Untuk Institusi

Manfaat yang dapat diberikan dari tugas akhir ini untuk ITS adalah sebagai penelitian dan pengembangan dalam pengujian motor induksi. Manfaat yang kedua adalah sebagai referensi mahasiswa selanjutnya yang mengambil topik serupa untuk menyelesaikan tugas akhir.

1.6.2 Untuk Bidang Ilmu Pengetahuan

Manfaat yang dapat diberikan dari tugas akhir ini dalam bidang ilmu pengetahuan adalah sebagai referensi untuk melakukan pengujian tes surja terhadap motor induksi dengan rotor terpasang. Pengujian ini bermanfaat untuk mengetahui keadaan aktual dari motor induksi yang mengalami *turn-to-turn faults* sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan dini.

BAB II

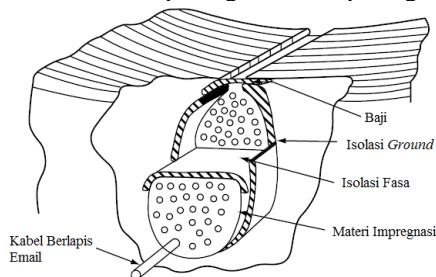
DASAR TEORI

2.1. Isolasi Pada Motor Induksi

Sistem isolasi yang digunakan pada mesin-mesin listrik diklasifikasikan pada kemampuan dasar isolasi tersebut bertahan terhadap jumlah suhu sepanjang mesin listrik tersebut beroperasi tanpa mengalami penurunan nilai isolasi. Ada beberapa persyaratan untuk sistem isolasi pada belitan stator mesin yaitu,

- Kekuatan dielektrik yang tinggi
- Ketahanan yang tinggi terhadap *partial discharge*
- Konduktivitas termal yang tinggi
- Ketahanan yang baik terhadap abrasi
- Ketahanan yang baik terhadap pemisahan pita akibat pemanasan suhu
- Ketahanan yang baik terhadap kelembaban dan uap minyak

Sistem isolasi pada mesin listrik terbagi menjadi 5 bagian besar. Pertama adalah sistem isolasi antar lilitan berlokasi diantara setiap lilitan yang terpisah pada belitan yang sama. Kedua adalah sistem isolasi antar fasa berlokasi diantara belitan yang berdekatan pada fasa yang berbeda. Ketiga adalah sistem isolasi fasa ke *ground* berlokasi diantara belitan dengan *ground* atau bagian struktur dari motor. Keempat adalah sistem isolasi slot baji yang berguna untuk menahan konduktor pada slotnya dengan kokoh. Kelima adalah sistem isolasi impregnasi yang berguna untuk mengikat semua komponen dan mengisi rongga udara. Sistem isolasi mesin listrik tersebut dapat digambarkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Sistem isolasi pada mesin listrik berdasarkan NEMA [1]

Sistem isolasi berdasarkan *NEMA (National Electrical Manufactures Association)* untuk belitan mesin terbagi menjadi beberapa kelas.

- Kelas O : Isolasi kelas ini memiliki jumlah suhu *rating* 100°C terbuat dari kombinasi katun, sutra, dan kertas tanpa impregnasi
- Kelas A : Isolasi kelas ini memiliki jumlah suhu *rating* 105°C terbuat dari kombinasi katun, sutra, dan kertas dengan impregnasi dan dilaminasi oleh minyak
- Kelas B : Isolasi kelas ini memiliki jumlah suhu *rating* 130°C terbuat dari kombinasi mika, serat optik, asbestos, dan lainnya
- Kelas F : Isolasi kelas ini memiliki jumlah suhu *rating* 155°C terbuat dari kombinasi mika, serat optik, asbestos, dan lainnya
- Kelas H : Isolasi kelas ini memiliki jumlah suhu *rating* 180°C terbuat dari kombinasi *elastomer silicon*, mika, serat optik, asbestos, dan lainnya
- Kelas C : Isolasi kelas ini memiliki jumlah suhu *rating* 220°C terbuat dari kombinasi teflon dan bahan sintetik alami lainnya [1].

2.2. Kegagalan Isolasi Pada Belitan Stator Motor

Mekanisme kegagalan isolasi belitan stator dapat disebabkan menjadi lima hal. Sebab pertama adalah kerusakan akibat termakan usia. Hal-hal yang dapat terjadi akibat kerusakan akibat usia antara lain keretakan pada isolasi, penyusutan, dan kerapuhan. Sebab kedua yang dapat menyebabkan kegagalan isolasi belitan stator adalah sebab mekanis. Sebab – sebab mekanis antara lain getaran, batang *amortissuer* yang rusak, koneksi yang longgar, baji dan ikatan-ikatan yang longgar, dan besi yang longgar. Sebab ketiga yang dapat menyebabkan kegagalan isolasi belitan stator adalah sebab suhu/panas. Sebab suhu/panas antara lain kelebihan beban, panas yang berlebih akibat hubung singkat pada laminasi, dan tidak bekerjanya pendingin. Sebab yang keempat adalah sebab lingkungan dan kontaminasi. Sebab lingkungan dan kontaminasi antara lain debu, kelembaban, minyak, dan partikel magnetik.

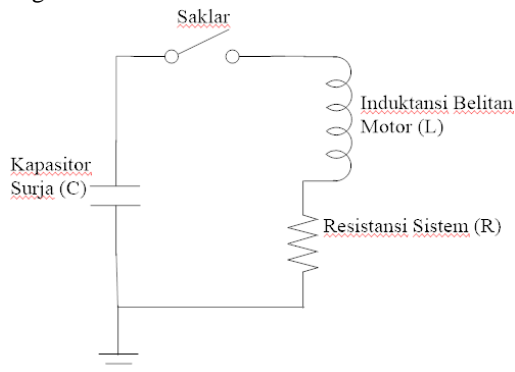
Sebab kelima yang dapat menyebabkan kegagalan isolasi belitan stator adalah sebab elektris. Sebab – sebab elektris antara lain korona, tegangan tidak seimbang, petir, *switching* surja, gangguan satu fasa, dan kegagalan tes. Ketidakseimbangan tegangan dapat menimbulkan arus pada urutan negatif. Arus urutan negatif ini dapat menyebabkan panas yang berlebih pada belitan fasa stator lainnya. Arus urutan negatif ini juga dapat mengakibatkan panas yang berlebih pada rotor dimana hal ini dapat

mengakibatkan stator menginduksikan arus yang dapat menyebabkan kegagalan pada isolasi stator. Masalah yang sama juga dapat terjadi akibat kelebihan beban. Kelebihan beban dapat terjadi akibat sumber tegangan yang rendah. Akibat dari kelebihan beban adalah panas yang berlebih pada belitan stator dan stres mekanis. Hal ini juga dapat menyebabkan penurunan nilai isolasi pada *turn-to-turn*, *coil-to-coil*, antar fasa, dan fasa dengan *ground*[1].

2.3. Tes Surja

Tes surja adalah tes yang dilakukan secara *offline* atau saat kondisi motor tidak beroperasi. Tes surja didesain untuk mendeteksi *turn-to-turn faults* karena sifat alaminya. Tes surja menggunakan tegangan yang cukup tinggi sehingga isolasi dapat tembus dan *arcing* dapat diamati namun tidak merusak isolasi dari belitan itu sendiri[1]. Tegangan impuls yang digunakan pada tes surja merupakan hasil dari pelepasan muatan secara cepat dari kapasitor ke dalam belitan motor.

Tegangan impuls ini akan menciptakan distribusi tegangan secara tidak *linear* yang mengakibatkan perbedaan tegangan antar *turn*. Arus akan mengalir ke dalam isolasi sebagai bentuk pelepasan muatan ketika tegangan yang diinjeksikan ke dalam lilitan melebihi batas tembus tegangan. Energi yang dilepaskan dari pelepasan muatan kapasitor akan menimbulkan gelombang osilasi yang teredam. Gelombang osilasi yang teredam ini akibat dari induktansi motor (L), resistansi sistem (R), dan kapasitor (C). Rangkaian induktansi motor (L), resistansi sistem (R), dan kapasitor (C) tersebut dapat diilustrasikan dalam rangkaian ekuivalen sesuai dengan gambar 2.2.



Gambar 2.2. Rangkaian ekuivalen tes surja [1]

Gelombang osilasi dari rangkaian RLC ini mempunyai frekuensi internal sesuai dengan persamaan berikut,

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}\right)} \quad (2.1)$$

Nilai $\frac{R^2}{4L^2}$ memiliki nilai yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai $\frac{1}{LC}$ maka dari itu persamaan frekuensi osilasi internal berubah menjadi seperti persamaan dibawah ini,

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

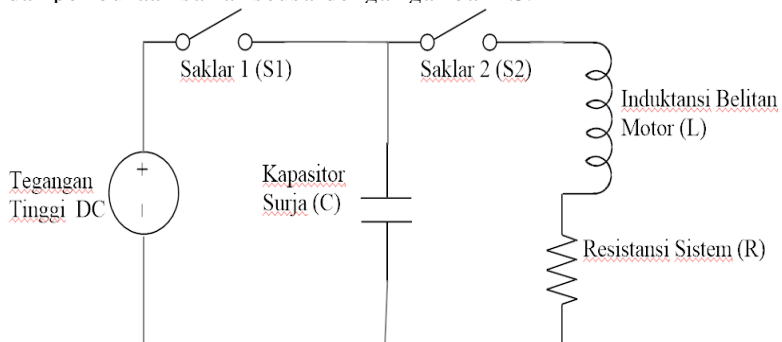
f = frekuensi osilasi

L = induktansi belitan motor

C = kapasitansi kapasitor surja

R = resistansi sistem

Sumber dari tes surja ini adalah tegangan tinggi *DC*. Pengisian dan pelepasan muatan dari kapasitor menggunakan skema penutupan dan pembukaan saklar seusai dengan gambar 2.3.



Gambar 2.3. Gambar skematik konfigurasi rangkaian tes surja [4]

Langkah pertama adalah mengatur sumber tegangan tinggi *DC* ke nilai yang diinginkan. Setelah sumber memiliki tegangan yang diinginkan saklar 1(S1) akan menutup untuk mengisi muatan pada kapasitor sampai pada tegangan yang sama dengan tegangan sumber. Jika tegangan kapasitor sudah mencapai tegangan yang sama dengan tegangan sumber, lalu S1 akan membuka dan saklar 2 (S2) akan menutup. Saat S2 menutup

muatan pada kapasitor akan berpindah ke belitan stator motor induksi 3 fasa sehingga muatan pada kapasitor akan terlepas [4].

2.4. Pembangkit Tegangan Tinggi DC

Pembangkit tegangan tinggi DC pada umumnya menggunakan prinsip rangkaian Kaskade Greinacher (Cockcroft-Walton). Rangkaian Kaskade Greinacher mampu merubah dari sumber tegangan AC yang relatif kecil ke tegangan tinggi DC [5]. Cara kerja dari rangkaian Kaskade Greinacher adalah arus awal dari tegangan positif (+Vs) akan mengisi kapasitor C2. Arus tersebut tidak dapat mengalir dan mengisi kapasitor C1 karena dihalang oleh diode D1. Setelah itu saat tegangan bernilai negatif (-Vs) arus sumber akan mengisi kapasitor C1 sehingga jumlah tegangan yang dihasilkan jika diukur dari ujung diode D2 adalah jumlah dari tegangan pada kapasitor C2 dan tegangan pada kapasitor C1 atau sebesar 2Vs. Cara kerja tersebut akan terulang pada setiap tingkat dari rangkaian Kaskade Greinacher[4]. Persamaan tegangan output dari rangkaian Kaskade Greinacher adalah sebagai berikut :

$$V_{out} = 2 \times N \times V_{peak} \quad (2.3)$$

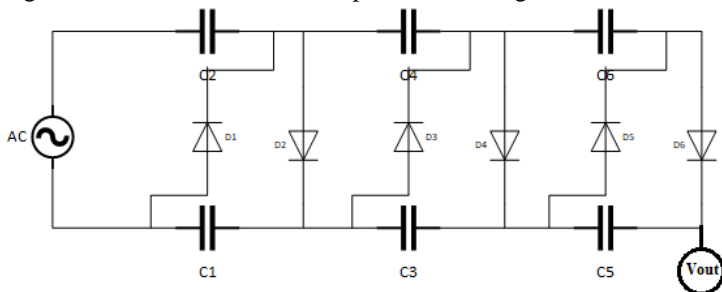
Keterangan :

V_{out} = Tegangan yang dihasilkan dari rangkaian Kaskade Greinacher

N = Jumlah tingkat rangkaian

V_{peak} = Tegangan AC puncak *input* rangkaian Kaskade Greinacher

Rangkaian Kaskade Greinacher dapat dilihat dari gambar 2.4.



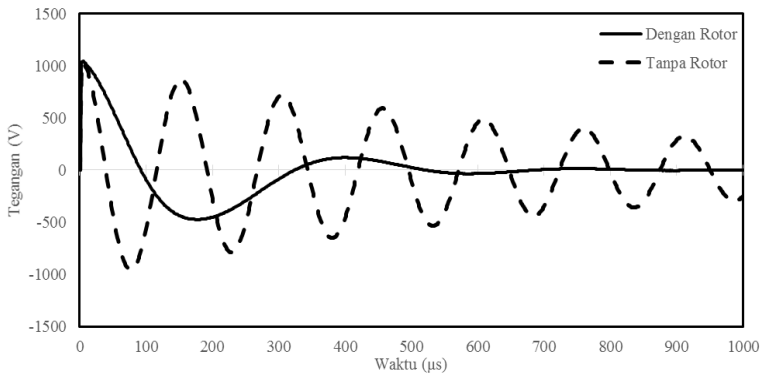
Gambar 2.4. Gambar rangkaian Kaskade Greinacher 3 tingkat [5]

2.5. Pengaruh Rotor Terhadap Tes Surja

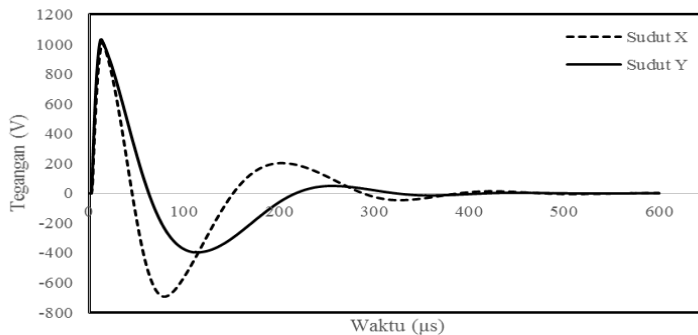
Perbedaan antar tes surja tidak dengan rotor dan dengan rotor terpasang mempunyai hasil gelombang yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh nilai induktansi yang berbeda pada motor induksi jika rotor

dipasangkan saat tes surja. Nilai induktansi yang berbeda akan memengaruhi besarnya nilai frekuensi resonansi internal. Waktu *zero crossing point* setengah *cycle* saat rotor terpasang dan tidak terpasang dari tes surja mempunyai hasil yang berbeda. Hasil tes surja dengan rotor terpasang menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk satu gelombang lebih lama daripada tanpa rotor terpasang [4].

Partial discharge tegangan permulaan akibat tes surja dengan rotor terpasang dapat berubah secara signifikan. Jenis rotor dan besar sudut rotor yang dipakai saat tes surja juga memengaruhi hasil tes surja. Hasil analisis bedasar pengujian menunjukkan bahwa akibat perubahan nilai impedansi ekuivalen pada jalur fluks magnet merubah pendistribusian tegangan surja pada isolasi lilitan belitan stator, fasa, dan *ground*. Perubahan pendistribusian tegangan dapat memengaruhi lokasi terjadinya *partial discharge* [3]. Gambar 2.5. memperlihatkan contoh hasil tes tegangan surja yang dilakukan pada stator motor induksi tanpa dan dengan rotor terpasang. Gambar 2.6. menunjukkan hasil respon tes tegangan surja pada stator motor induksi dengan rotor terpasang pada dua sudut rotor yang berbeda.



Gambar 2.5. Respon tes tegangan surja pada stator motor induksi tanpa rotor dan dengan rotor terpasang [4].



Gambar 2.6. Respon tes tegangan surja pada stator motor induksi dengan rotor terpasang pada dua sudut rotor yang berbeda

2.6. Standar Pengujian Tegangan Surja

Pengujian tegangan surja ke suatu belitan memiliki dua jenis pengujian. Menurut *IEEE std. 522* tahun 2004 pengujian tegangan surja terbagi menjadi *conduction type-devices* dan *induction type-devices*. Jenis *Conduction type-devices* yaitu pengujian tegangan surja dengan cara langsung menginjeksikan tegangan surja ke suatu belitan. Jenis *induction type-devices* yaitu pengujian tegangan surja dengan cara menginduksikan tegangan surja ke suatu belitan melalui sebuah transformer. Belitan sekunder transformer berfungsi untuk menginduksikan tegangan surja ke belitan yang ingin diuji sedangkan belitan primer transformer diinjeksikan dengan tegangan surja.

Besar tegangan surja yang digunakan tergantung pada besar *rise time* tegangan surja tersebut. *Rise time* itu sendiri diasumsikan waktu yang diperlukan untuk dari 0.1 sampai 0.9 dari nilai puncak tegangan surja. Adapun ketentuan perhitungan dalam menentukan tegangan surja yang digunakan berdasarkan *rise time* seperti di bawah ini.

$$V_1 = [\sqrt{(2/3)}]V_L = 1 \text{ p.u.} \quad T_r = 0.0 \text{ } \mu\text{s}$$

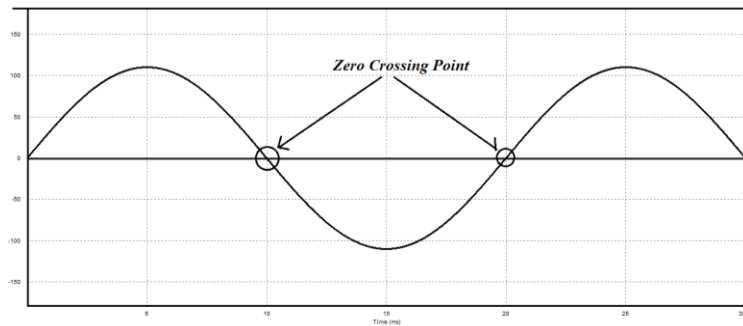
$$V_2 = 3.5V_1 = 3.5 \text{ p.u.} \quad T_r = 0.1 \text{ } \mu\text{s}$$

$$V_3 = 5V_1 = 5 \text{ p.u.} \quad T_r \geq 1.2 \text{ } \mu\text{s}$$

Adapun ketentuan yang disarankan dalam penggunaan tegangan surja adalah 75% dari perhitungan di atas [6].

2.7. Zero Crossing Point

Zero crossing point adalah sebuah metode untuk melihat dan menganalisa sebuah gelombang sinyal. *Zero crossing point* melihat gelombang sinyal menyetuh titik nol dimana amplitudo gelombang tersebut bertransformasi dari bernilai positif ke bernilai negatif atau sebaliknya. Gambar 2.7. menunjukkan konsep dari *zero crossing point* itu sendiri..



Gambar 2.7. Konsep *zero crossing point*

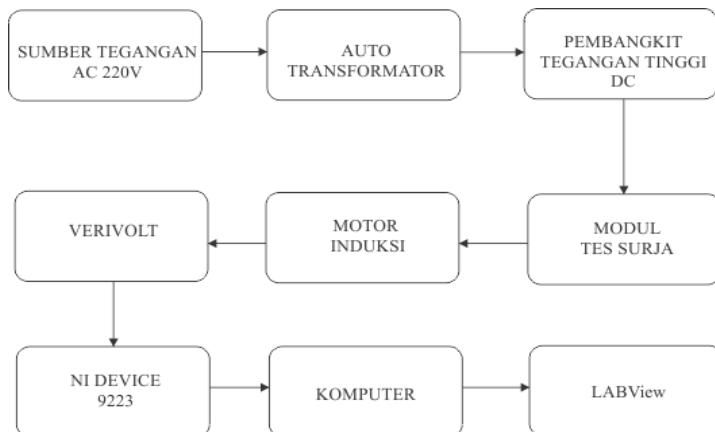
Zero crossing point merupakan metode aplikatif yang memiliki pertimbangan performa pasti. Pulsa arus yang diciptakan oleh tes surja menghasilkan respon histeresis pada belitan stator dan rotor. Jika energi yang diberikan pada tes surja lebih besar maka respon dari tes surja tersebut akan mengalami pergeseran ke kiri secara bertahap. Hasil dari pergeseran respon ini dijadikan sebagai kriteria lulus atau tidaknya sebuah belitan stator atau rotor jika dilakukan tes surja. Motor 3 fasa dengan rotor terpasang memiliki kriteria kegagalan isolasi *turn-to-turn* sebesar 10-25% atau lebih [7].

BAB III

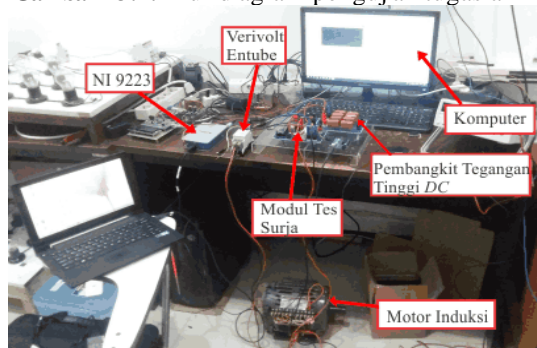
PERANCANGAN SISTEM DAN OBJEK UJI

3.1. Perancangan Sistem

Bab tiga ini akan membahas sistem dan alur yang digunakan dalam pengujian dan pengerjaan tugas akhir Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi dengan Rotor Terpasang Berdasarkan *Zero Crossing Point*. Sistem dan alur pengujian dan pengerjaan tugas akhir Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi dengan Rotor Terpasang Berdasarkan *Zero Crossing Point* dapat diilustrasikan pada gambar 3.1.. Gambar 3.2. memperlihatkan kondisi nyata dalam pengujian tes surja.



Gambar 3.1. Alur diagram pengujian tugas akhir



Gambar 3.2. Kondisi pengujian tes surja

Alur pengerjaan dan pengujian tugas akhir ini dimulai dengan menyuplai *auto-transformator* dengan sumber tegangan AC 220V. Tujuan dari penggunaan *auto-transformator* adalah untuk mengatur tegangan sumber dari 0V sampai nominal tegangan yang dibutuhkan. Tegangan keluaran dari *auto-transformator* dihubungkan ke pembangkit tegangan tinggi DC. Tegangan dari *auto-transformator* diatur sehingga hasil tegangan keluaran pembangkit tegangan tinggi DC mencapai lebih dari 1000V DC. Tegangan dari pembangkit tegangan DC dihubungkan ke modul tes surja untuk menghasilkan tegangan surja. Tegaangan surja yang dihasilkan oleh modul tes surja dihubungkan dengan belitan stator pada motor induksi. Belitan stator yang diberi tegangan surja akan dipasang alat *verivolt* atau sensor tegangan untuk menurunkan tegangan dengan perbandingan 2000 : 10 sehingga dapat dibaca oleh alat akusisi data NI 9223. Hasil data yang diperoleh dari alat akusisi data NI 9223 tersebut selanjutnya dihubungkan ke komputer dan diolah melalui perangkat lunak *LABView*.

3.2. Perancangan Alat dan Objek Uji

3.2.1. Perancangan Motor Induksi

Tahap ini bertujuan untuk memersiapkan objek uji berupa motor induksi tiga fasa. Motor induksi tiga fasa yang diuji dengan tes surja memiliki rotor terpasang untuk mengetahui karakteristik respon tes surja tersebut. Hal ini bertujuan untuk menyimulasikan kondisi sesungguhnya pada motor induksi yang sedang beroperasi. Motor induksi 3 fasa yang digunakan memiliki spesifikasi yang tercantum di tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Motor Induksi

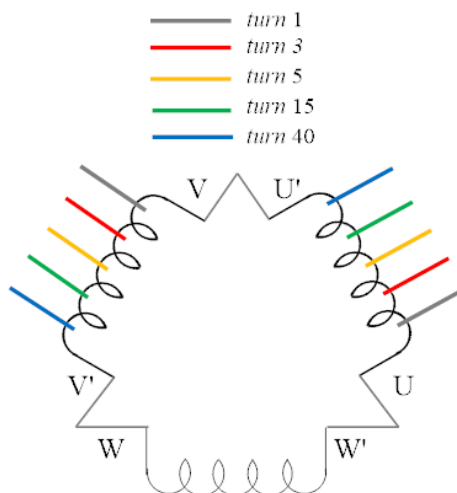
P_{rating}	2 HP
$Poles$	4
V_{rated}	220/380V
I_{rated}	3.6/2.1A
RPM	1380

Terminal tegangan motor induksi 3 fasa dihubungkan dengan konfigurasi delta. Hal ini dilakukan karena umumnya motor induksi 3 fasa dikonfigurasi delta saat dioperasikan. Pengujian tes surja pada motor induksi ini dilakukan pada salah satu fasa di belitan stator.

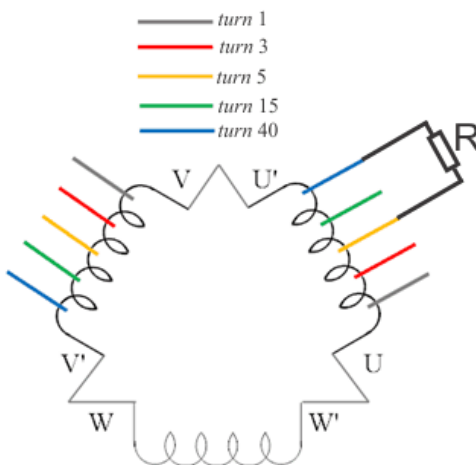
Kerusakan yang dilakukan pada motor induksi 3 fasa ini adalah kerusakan isolasi belitan antar *turn*. Motor induksi 3 fasa ini sudah dilengkapi dengan tab tambahan (*external tab*) untuk menyimulasikan kerusakan isolasi belitan antar *turn*. Tab tambahan tersebut dihubungkan dengan belitan stator fasa U dan fasa V. Lilitan (*turn*) yang dihubungkan dengan tab tambahan adalah lilitan 1, 3, 5, 15, dan 40 untuk setiap fasanya. Skema tab tambahan pada motor induksi 3 fasa dapat dilihat pada gambar 3.5. Fasa yang digunakan pada pengujian ini adalah fasa U dan fasa V. Pengujian ini juga menambahkan resistor pada salah satu *turn fault* yang diuji yaitu *turn fault* 5-40. Penambahan resistor ini bertujuan untuk melihat perbedaan respon tes tegangan surja pada *turn fault* tersebut. Penambahan resistor juga berfungsi untuk menyimulasikan jika terjadi kegagalan isolasi antar *turn* sebagian dan perbandingannya terhadap kondisi motor normal. Tabel 3.2. menunjukkan variasi yang digunakan pada tugas akhir ini. Gambar 3.3. mengilustrasikan motor induksi 3 fasa dengan konfigurasi delta beserta dengan jumlah *turn* untuk tab tambahan. Gambar 3.4 mengilustrasikan *turn fault* 5-40 dengan penambahan resistor.

Tabel 3.2. Variasi *turn fault* dan resistor

No	Variasi
1	<i>turn fault</i> 1-3
2	<i>turn fault</i> 1-5
3	<i>turn fault</i> 5-15
4	<i>turn fault</i> 3-15
5	<i>turn fault</i> 1-15
6	<i>turn fault</i> 15-40
7	<i>turn fault</i> 5-40
8	<i>turn fault</i> 3-40
9	<i>turn fault</i> 1-40
10	Resistor 56 ohm
11	Resistor 100 ohm
12	Resistor 510 ohm
13	Resistor 1000 ohm



Gambar 3.3. Ilustrasi belitan stator motor induksi dengan tambahan *external tab*

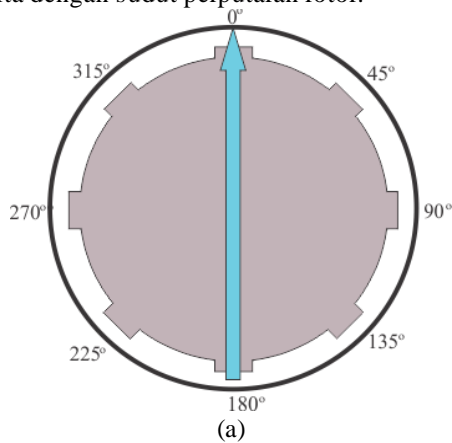


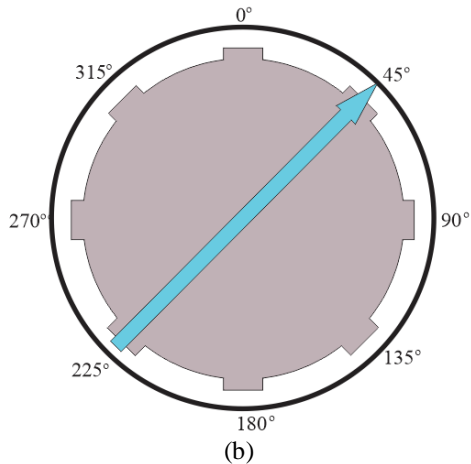
Gambar 3.4. Ilustrasi belitan stator motor induksi dengan resistor pada *turn fault 5-40*



Gambar 3.5. Motor induksi 3 fasa dengan *external tab*

Pengujian tes surja pada motor induksi dengan rotor terpasang ini juga dilakukan dengan beberapa besar sudut rotor. Sudut rotor yang digunakan pada pengujian ini dimulai dari sudut 0° sampai dengan sudut 360° dengan selisih sudut setiap pengujian yaitu sebesar 45° . Perbedaan sudut rotor memengaruhi besar induktansi dari motor induksi 3 fasa tersebut. Hal ini dapat menyebabkan perubahan respon tes surja yang berbeda juga untuk setiap sudutnya. Gambar 3.6. mengilustrasikan stator dan rotor beserta dengan sudut perputaran rotor.





Gambar 3.6. Ilustrasi rotor dengan perputaran sudut rotor (a) sudut 0°
(b) sudut 45°

3.2.2 Perancangan Modul Pembangkit Tegangan Tinggi DC

Tahap ini bertujuan untuk mempersiapkan alat uji berupa modul pembangkit tegangan tinggi DC. Modul pembangkit tegangan tinggi DC ini menggunakan prinsip rangkaian Kaskade Greinacher (Crockcroft-Walton). Modul pembangkit tegangan tinggi DC ini bertujuan untuk merubah sumber tegangan AC menjadi tegangan DC. Besar tegangan keluaran dari modul pembangkit tegangan tinggi DC bisa diatur melalui *autotransformer* sehingga tegangan keluaran dari modul pembangkit tegangan tinggi DC sesuai dengan nilai yang dibutuhkan [5]. Gambar 3.7 merupakan modul pembangkit tegangan tinggi DC. Modul pembangkit tegangan tinggi DC mampu membangkitkan tegangan DC sesuai dengan rumus di bawah ini.

$$V_{out} = 2 \times N \times V_{peak} \quad (3.1)$$

Keterangan :

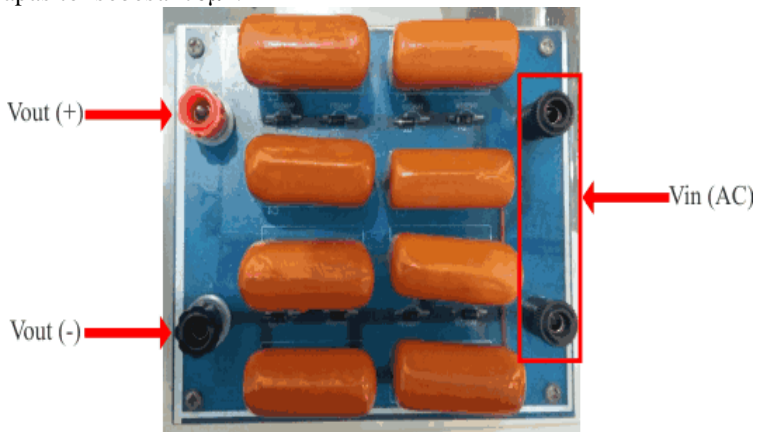
V_{out} = Tegangan yang dihasilkan dari rangkaian Kaskade Greinacher

N = Jumlah tingkat rangkaian

V_{peak} = Tegangan AC puncak *input* rangkaian Kaskade Greinacher

Jika sumber maksimal tegangan AC adalah sebesar 220V dengan tegangan puncak sebesar 311V dan modul menggunakan 4 tingkat Kaskade Greinacher, maka tegangan yang mampu dibangkitkan dari modul tersebut jika dianggap komponennya ideal adalah 2488 V.

Pemilihan besar kapasitor pada rangkaian Kaskade Greinacher ditentukan sesuai kebutuhan tegangan pengujian. Berdasarkan penelitian sebelumnya tegangan uji yang dipakai yaitu kurang lebih 1000V maka dari itu kapasitas penyimpan tegangan pada kapasitor sebesar 2000V. Tidak ada ketentuan besar kapasitansi kapasitor untuk rangkaian Kaskade Greinacher ini, namun untuk mengurangi *ripple* dan *loses* tegangan disarankan menggunakan kapasitor yang tidak terlalu kecil terutama kapasitor yang berada pada tingkat pertama. Pada modul ini dipilih kapasitor sebesar 70 μ F.

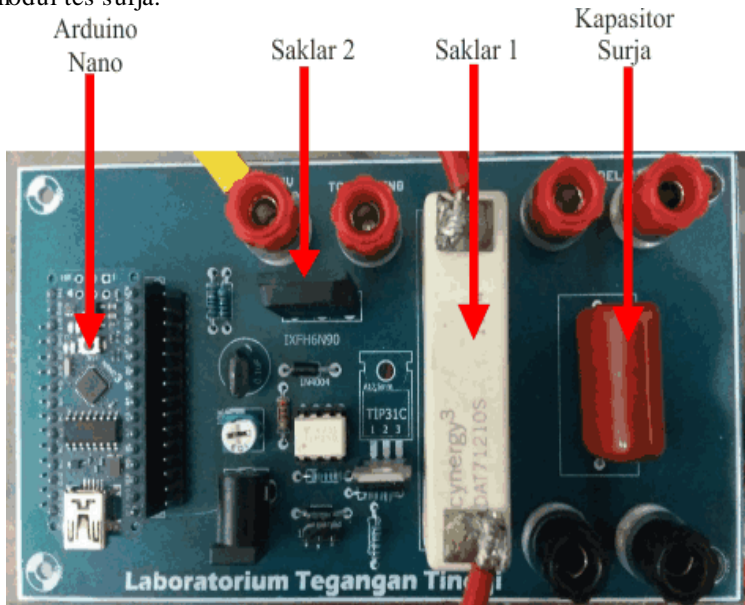


Gambar 3.7. Modul pembangkit tegangan tinggi DC

3.2.3. Perancangan Modul Tes Surja

Tahap ini bertujuan untuk mempersiapkan alat uji berupa modul tes surja. Modul tes surja yang digunakan terdiri dari 4 bagian utama yaitu saklar 1, kapasitor surja, saklar 2 dan arduino nano. Saklar 1 berfungsi untuk mengisi kapasitor surja dengan muatan tegangan DC. Saklar 1 pada modul tes surja ini adalah relay cynergy DAT71210S. Saklar 2 berfungsi sebagai pelepas muatan tegangan DC dari kapasitor surja menuju belitan stator motor induksi. Saklar 2 pada modul tes surja ini menggunakan *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) seri IRG4PH5U dengan kapasitas saturasi tegangan yang mampu dilewatkan adalah sebesar 1200V. Kapasitor surja yang digunakan pada modul tes surja ini adalah kapasitor non-polar jenis mylard dengan kapasitansi sebesar 12nF dan kapasitas maksimum muatan tegangan tesimpan sampai dengan 2000V. Penentuan kapasitor berdasarkan perhitungan frekuensi osilasi. Periode

osilasi *cycle* pertama (t_2) yang dikehendaki adalah $180\mu s$ [3]. Induktansi ekuivalen belitan motor adalah $85mH$ sehingga didapatkan kapasitor sebesar $10nF$. Namun karena komponen yang dikehndaki sedang kosong maka dipilh kapasitor $12nF$. Penyalaan saklar 1 dan saklar 2 diatur oleh arduino nano dengan pengaturan saklar 1 dihidupkan pertama dalam kurun waktu 5 detik. Setelah itu saklar 1 akan mati dan saklar 2 hidup dengan kurun waktu 3 detik [4]. Gambar 3.8. merupakan gambar dari modul tes surja.

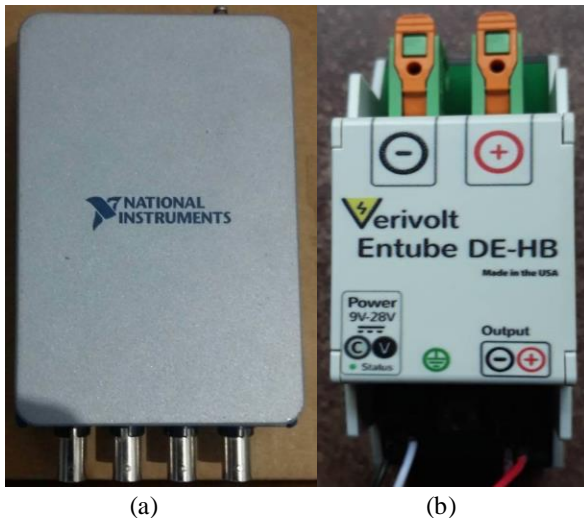


Gambar 3.8. Modul *switch* tes surja

3.2.4. Verivolt Entube DE-HB dan NI 9223

Verivolt Entube merupakan sebuah perangkat keras yang berfungsi sebagai sensor tegangan. Perangkat ini mampu membaca tegangan yang tinggi lalu dikonverisikan ke nilai yang lebih kecil dengan perbandingan tegangan masukan dan tegangan keluaran sebesar 2000 : 10. Perangkat ini dipasang secara paralel dengan belitan motor induksi untuk mendapatkan hasil respon tegangan surja. NI (*National Instrument*) 9223 merupakan perangkat akusisi data yang merubah sinyal analog menjadi sinyal digital atau yang biasa kita kenal dengan *analog to*

digital converters. (ADCs). Perangkat NI ini merekam respon surja yang dihasilkan melalui perangkat Verivolt dan merubahnya ke dalam bentuk digital sehingga dapat lebih mudah untuk diolah dan dianalisa. Data yang direkam oleh perangkat NI disimpan dan ditampilkan pada komputer melalui perangkat lunak *LABView*. Gambar 3.9. merupakan gambar dari perangkat Verivolt Entube DE-HB dan NI 9223.

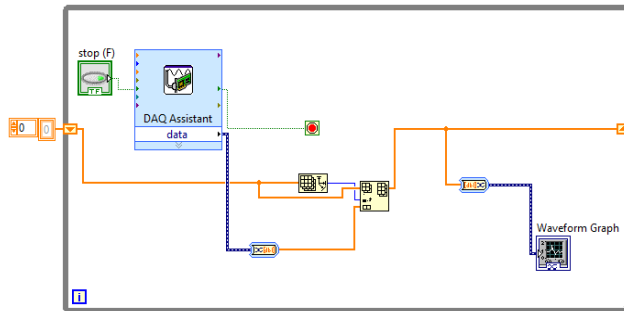


Gambar 3.9. (a) NI 9223 (b) Verivolt Entube DE-HB

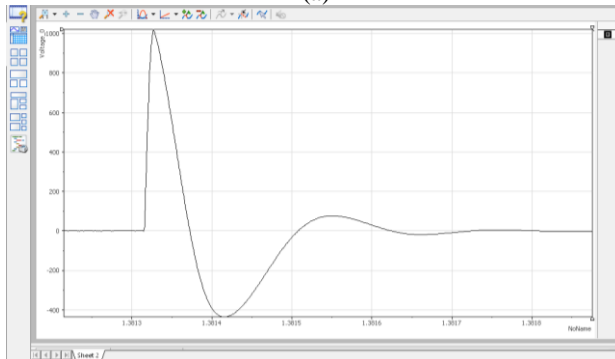
3.2.5. *LABView*

LABView merupakan perangkat lunak hasil produk dari *National Instrument* yang berfungsi sebagai perangkat akusisi data. Program *LABView* yang digunakan pada tugas akhir ini memanfaatkan fitur *DAQ Assistant* sebagai sarana untuk perekam dan penyimpanan data. *DAQ Assistant* terhubung dengan perangkat NI 9223 sehingga mampu merekam dan menyimpan data hasil respon tes surja. Fitur lain yang digunakan cukup sederhana yaitu fitur control *start*, *stop*, dan *display* [4]. Fitur *start* berfungsi sebagai tombol untuk memulai proses akusisi data, fitur *stop* berfungsi sebagai tombol untuk menghentikan proses akusisi data, dan fitur *display* berfungsi untuk menampilkan sinyal gelombang yang sedang diakusisi pada *front panel* dan menyimpan berkas akusisi data tersebut di komputer. Gambar 3.10. memperlihatkan *block diagram*

dan tampilan gelombang surja yang digunakan pada pengujian untuk tugas akhir ini.



(a)



(b)

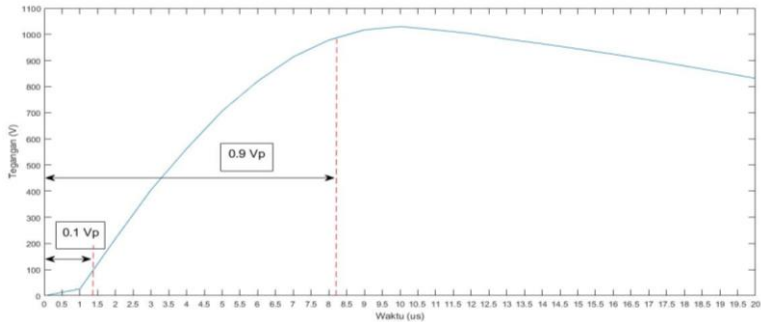
Gambar 3.10. (a) Block diagram (b) Tampilan gelombang surja

3.2.6 Perancangan Gelombang Surja

3.2.6.1 Pengujian Rise Time Gelombang

Pada sub bab ini membahas proses pengujian tegangan surja untuk mendapatkan nilai *rise time* sehingga dapat menentukan besar tegangan uji. Gambar 3.11. menunjukkan gelombang tegangan surja. Dari gambar 3.11.. dapat dihitung *rise time* dari gelombang surja adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} t_{0.9V_p} - t_{0.1V_p} &= 7.21 \mu s - 1.4 \mu s \\ &= 5.81 \mu s \end{aligned}$$



Gambar 3.11. *Rise time* gelombang surja

Karena *rise time* tegangan surja melebihi $1.2\mu s$ maka digunakan ketentuan sesuai dengan *IEEE Std. 522* [6] adalah 5 p.u. dengan perhitungan sebagai berikut

$$\begin{aligned} V &= [\sqrt{(2/3)}] \times V_L \times 5 \times 0.75 \\ &= [\sqrt{(2/3)}] \times 380 \times 5 \times 0.75 \\ &= 1163.5 \text{ V} \end{aligned}$$

Untuk kemanan isolasi motor dan modul tes surja, tegangan yang digunakan pada pengujian ini adalah 1030 V.

3.2.6.2 Pengaturan Tegangan Puncak

Sub bab ini membahas pengujian tegangan puncak dari rangkaian Kaskade-Greinacher. Tegangan keluaran dari rangkaian Kaskade-Greinacher yang dipakai pada pengujian ini adalah sebesar 1030 V. Pengujian dilakukan untuk mengetahui besar tegangan yang diinjeksikan dan terekam oleh NI 9223 pada belitan stator. Pengujian tegangan puncak dilakukan sebanyak 7 kali pada belitan stator dalam kondisi normal tanpa *turn fault*. Tabel 3.3. menunjukkan besar tegangan puncak yang terekam oleh alat NI 9223. . Tegangan puncak maksimal pada belitan stator yaitu sebesar 1004.31 V dan tegangan puncak minimal yaitu sebesar 997.84 V. Besar tegangan puncak yang diinjeksikan pada belitan stator tidak sama dengan tegangan keluaran rangkaian Kaskade-Greinacher disebabkan adanya tegangan yang hilang akibat rugi-rugi pada belitan stator dan rugi-rugi pada belitan rotor[4]. Besar frekuensi *sampling* yang digunakan pada NI 9223 juga memengaruhi dalam merekam tegangan puncak surja. Penggunaan frekuensi *sampling* kurang dari 1MHz dapat mengurangi kapasitas dalam merekam tegangan secara presisi.

Tabel 3.3. Nilai Tegangan Puncak

No.	Tegangan (V)
1	1003.54
2	997.84
3	998.55
4	1004.31
5	1000.56
6	1000.62
7	1002.50

BAB IV

IDENTIFIKASI KERUSAKAN BELITAN MOTOR INDUKSI DENGAN ROTOR TERPASANG MENGUNAKAN *ZERO CROSSING POINT*

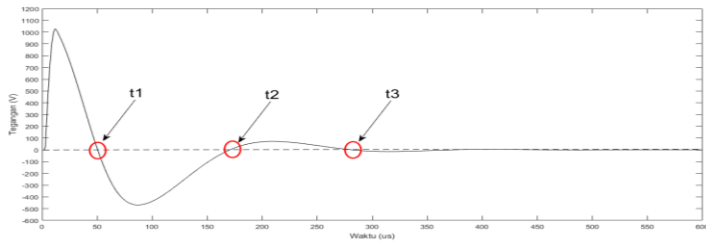
Bab ini menunjukkan hasil dan analisis dari pengujian tes surja terhadap motor induksi dengan rotor terpasang berdasarkan waktu *zero crossing point*. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan sudut rotor, jumlah *turn fault*, dan penambahan resistor pada salah satu *turn fault*. Tujuan dari variasi pengujian adalah untuk membandingkan hasil pengujian saat motor induksi dalam kondisi normal, motor induksi dalam keadaan *turn fault*, dan motor induksi dalam keadaan *turn fault* yang ditambah dengan resistor.

Variasi sudut rotor yang digunakan pada pengujian ini yaitu sudut 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 360°. Hasil variasi sudut rotor dilihat dan dianalisa bagaimana karakteristik yang dihasilkan berdasarkan *zero crossing point*. Variasi *turn fault* yang digunakan pada pengujian ini yaitu *turn fault* 1-3, *turn fault* 1-5, *turn fault* 5-15, *turn fault* 3-15, *turn fault* 1-15, *turn fault* 15-40, *turn fault* 5-40, *turn fault* 3-40, dan *turn fault* 1-40. Hasil yang diperoleh dianalisa dan dibandingkan terhadap keadaan motor induksi normal / tanpa *turn fault* dan dihitung berapa persentase eror terhadap keadaan motor induksi normal. Variasi resistor yang digunakan pada pengujian ini yaitu resistor 56 ohm, 100 ohm, 510 ohm, dan 1000 ohm. Penambahan resistor ditempatkan pada *turn fault* 5-40 pada fasa U. Hal ini bertujuan untuk melihat perbedaan respon tes tegangan surja pada *turn fault* tersebut serta membandingkan dengan kondisi motor normal

4.1. Pengujian Variasi Sudut Rotor pada Motor Induksi

Sub bab ini membahas hasil dan analisa pengujian motor induksi 3 fasa dengan variasi sudut rotor. Variasi sudut rotor yang digunakan pada pengujian ini yaitu sudut 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 360°. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik respon tegangan surja dengan variasi sudut rotor berdasarkan *zero crossing point* yang diperoleh. Pengujian setiap sudut dilakukan sebanyak lima kali untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Waktu *zero crossing point* yang digunakan adalah saat t_1 , t_2 , dan t_3 . Waktu *zero crossing point* yang ditunjukkan pada tugas akhir ini memiliki besaran mikro sekon (μs).

Gambar 4.1. mengilustrasikan waktu *zero crossing point* pada t_1 , t_2 , dan t_3 .



Gambar 4.1. Waktu *zero crossing point* pada t_1 , t_2 , dan t_3 .

4.1.1 Pengujian Variasi Sudut Rotor pada Fasa U

Pada subsub bab ini dibahas hasil pengujian tes surja pada fasa U motor induksi. Tabel 4.1. menunjukkan hasil *zero crossing point* t_1 , t_2 , dan t_3 dari motor induksi dalam kondisi normal. Dari tabel 4.1. dapat dilihat bahwa nilai tertinggi waktu *zero crossing point* terdapat pada sudut 135° dan sudut 315° , nilai terendah terdapat pada sudut 45° dan sudut 225° , dan nilai tengah terdapat pada sudut 0° , 90° , 180° , 270° , dan 360° . Gambar 4.2. menunjukkan hasil plot grafik nilai rata-rata, maximum, dan minimum *zero crossing point* terhadap sudut rotor dalam kondisi normal.

Tabel 4.1. Nilai *zero crossing point* t_1 , t_2 , dan t_3 motor induksi fasa U dalam kondisi normal (a) nilai rata-rata (b) nilai maksimum (c) nilai minimum

(a)

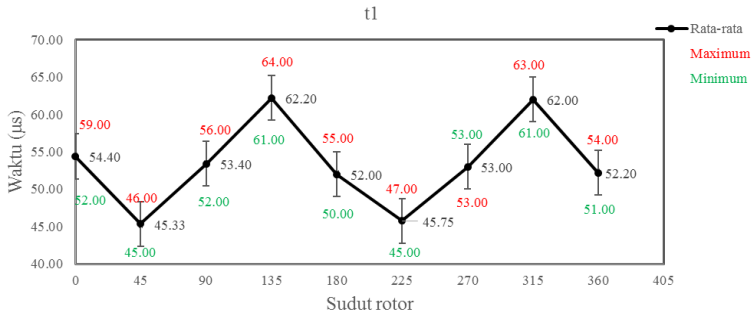
Sudut	t_1 (μ s)	t_2 (μ s)	t_3 (μ s)
0	54.40	175.25	302.33
45	45.33	152.17	288.60
90	53.40	175.50	303.25
135	62.20	211.50	320.80
180	52.00	171.25	301.25
225	45.75	153.00	289.75
270	53.00	176.25	302.33
315	62.00	212.83	320.00
360	52.20	172.60	302.00

(b)

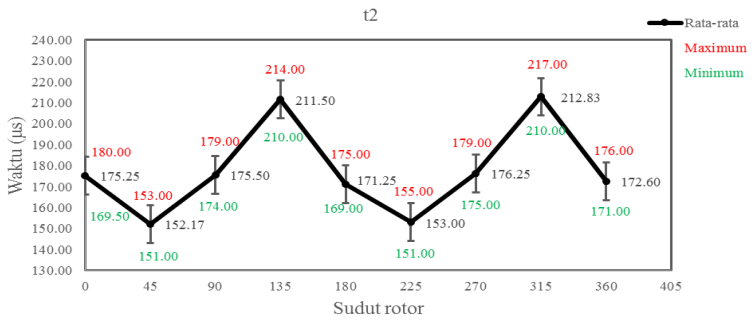
Sudut	t1 (μ s)	t2(μ s)	t3 (μ s)
0	59.00	180.00	304.00
45	46.00	153.00	289.00
90	56.00	179.00	306.00
135	64.00	214.00	324.00
180	55.00	175.00	306.00
225	47.00	155.00	291.00
270	53.00	179.00	303.00
315	63.00	217.00	322.00
360	54.00	176.00	304.00

(c)

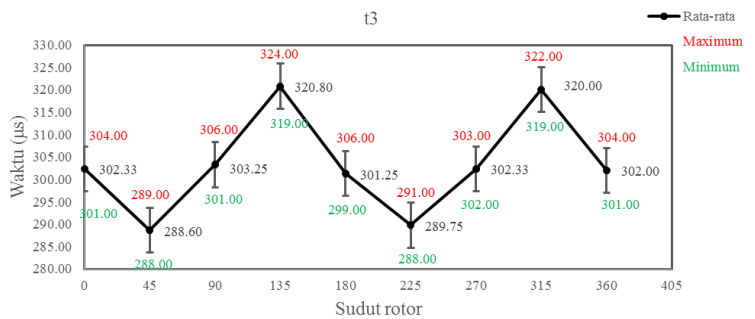
Sudut	t1 (μ s)	t2 (μ s)	t3 (μ s)
0	52.00	169.00	301.00
45	45.00	151.00	288.00
90	52.00	174.00	301.00
135	61.23	209.53	318.58
180	50.14	168.83	299.00
225	44.99	151.39	288.28
270	52.82	174.65	302.41
315	60.85	210.17	318.71
360	51.32	171.27	300.99
0	52.00	169.50	301.00



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. Hasil waktu zero crossing point pada motor induksi fasa U dalam kondisi normal (a) t₁ (b) t₂ (c) t₃.

4.1.2 Pengujian Variasi Sudut Rotor pada Fasa V

Pada subsub bab ini dibahas hasil pengujian tes surja pada fasa V motor induksi. Tabel 4.2. menunjukkan hasil *zero crossing point* t_1 , t_2 , dan t_3 dari motor induksi dalam kondisi normal. Dari tabel 4.2. dapat dilihat bahwa nilai tertinggi waktu *zero crossing point* terdapat pada sudut 90° dan sudut 270° , nilai terendah terdapat pada sudut 0° , 135° , 315° dan sudut 360° , dan nilai tengah terdapat pada sudut 45° , dan 225° . Gambar 4.3. menunjukkan hasil plot grafik nilai rata-rata, maximum, dan minimum *zero crossing point* terhadap sudut rotor dalam kondisi normal.

Tabel 4.2. Nilai *zero crossing point* t_1 , t_2 , dan t_3 dari motor induksi fasa V dalam kondisi normal (a) nilai rata-rata (b) nilai maksimum (c) nilai minimum/

(a)

Sudut	t_1 (μ s)	t_2 (μ s)	t_3 (μ s)
0	46.60	155.00	291.00
45	54.80	183.80	303.00
90	60.40	203.00	315.75
135	48.20	160.20	293.33
180	46.80	156.00	290.50
225	55.80	186.25	305.00
270	60.40	205.20	316.00
315	48.00	160.00	293.00
360	48.00	156.40	291.40

(b)

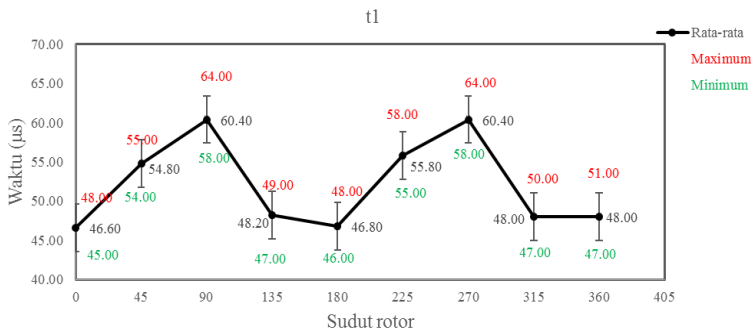
Sudut	t_1 (μ s)	t_2 (μ s)	t_3 (μ s)
0	48.00	156.00	293.00
45	55.00	186.00	304.00
90	64.00	207.00	318.00
135	49.00	162.00	295.00
180	48.00	158.00	291.00
225	58.00	189.00	309.00
270	64.00	215.00	322.00

Tabel 4.2. Nilai *zero crossing point* t_1 , t_2 , dan t_3 motor induksi fasa V dalam kondisi normal (a) nilai rata-rata (b) nilai maksimum (c) nilai minimum (lanjutan)

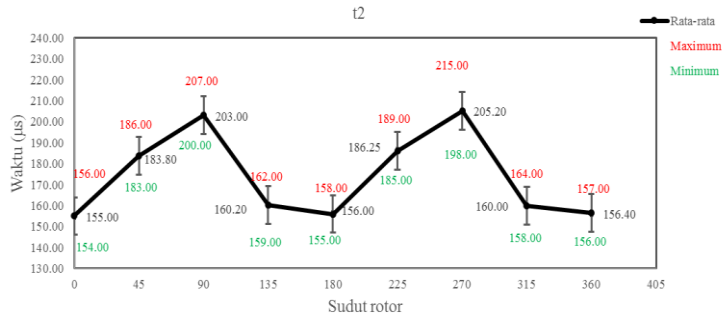
Sudut	t_1 (μs)	t_2 (μs)	t_3 (μs)
315	50.00	164.00	297.00
360	51.00	157.00	293.00

(c)

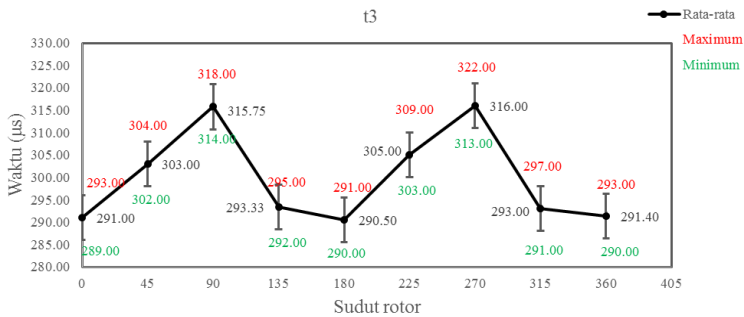
Sudut	t_1 (μs)	t_2 (μs)	t_3 (μs)
0	45.00	154.00	289.00
45	54.00	183.00	302.00
90	58.00	200.00	314.00
135	47.00	159.00	292.00
180	46.00	155.00	290.00
225	55.00	185.00	303.00
270	58.00	198.00	313.00
315	47.00	158.00	291.00
360	47.00	156.00	290.00



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3. Hasil waktu *zero crossing point* pada motor induksi fasa V dalam kondisi normal (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3 .

Hasil plot grafik waktu *zero crossing point* terhadap sudut rotor memperlihatkan bahwa respon tes surja pada motor induksi dengan memvariasikan sudut rotor membentuk pola berulang. Pola berulang tersebut terulang sebanyak dua kali pada 1 putaran penuh 360° [3]. Plot grafik *zero crossing point* pada fasa U membentuk pola sinusoidal sedangkan pada fasa V hasil *zero crossing point* membentuk pola huruf M. Hasil dari *zero crossing point* tersebut diakibatkan karena perubahan nilai induktansi(L) serta resistansi(R) pada motor induksi seiring dengan perubahan sudut rotor. Perubahan nilai induktansi motor terhadap perubahan sudut rotor dapat dilihat dari tabel 4.3. Perubahan nilai induktansi dan resistansi dapat memengaruhi jalur flux magnetis pada motor induksi tersebut[3]. Perubahan nilai induktansi dan resistansi juga

berpengaruh terhadap nilai frekuensi resonansi sehingga nilai *zero crossing point* pada setiap sudut rotor mempunyai nilai tertentu.

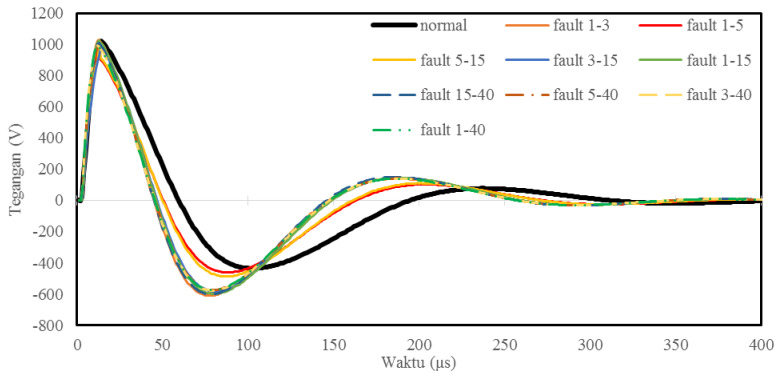
Tabel 4.3. Nilai induktansi motor pada fasa U dan V dengan variasi sudut rotor

Sudut Rotor	Induktansi Motor (mH)	
	Fasa U	Fasa V
0	85.55	81.82
45	80.08	77.90
90	85.23	81.63
135	80.16	77.54
180	84.96	81.70
225	79.78	77.53
270	85.46	81.90
315	80.65	77.84
360	85.53	82.07

4.2. Pengujian Variasi *Turn Fault*

4.2.1. Pengujian Variasi *Turn Fault* pada Fasa U

Subsub bab ini membahas hasil dan analisa pengujian motor induksi 3 fasa dengan *turn fault* pada fasa U. *Turn fault* yang digunakan pada pengujian ini yaitu *turn fault* 1-3, *turn fault* 1-5, *turn fault* 5-15, *turn fault* 3-15, *turn fault* 1-15, *turn fault* 15-40, *turn fault* 5-40, *turn fault* 3-40, dan *turn fault* 1-40. Pemilihan *turn fault* berdasarkan besar selisih *turn fault* yang semakin besar. Setiap *turn fault* juga memiliki variasi sudut rotor yang digunakan pada pengujian kondisi normal yaitu sudut 0°, 45 °, 90 °, 135 °, 180 °, 225 °, 270 °, dan 360 °. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan karaktersitik respon tegangan surja dengan membandingkan hasil *zero crossing point* yang diperoleh pada kondisi *turn fault* dan kondisi motor normal tanpa *turn fault*. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui variasi *turn fault* yang digunakan sudah termasuk kategori kegagalan isolasi antar *turn* atau tidak. Gambar 4.4. menunjukkan hasil respon tes surja sudut 0° dalam kondisi normal dan variasi *turn fault* pada fasa U.



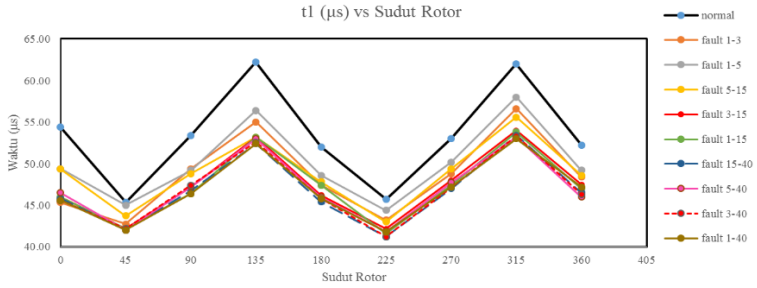
Gambar 4.4. Respon tes surja dalam kondisi normal dan variasi *turn fault* pada fasa U

4.2.1.1. Hasil Nilai Rata-Rata Zero Crossing point

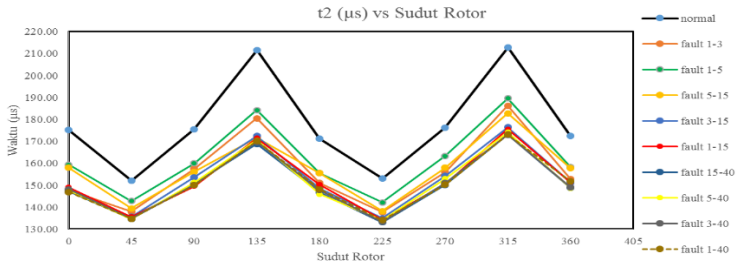
Subsubsub bab ini membahas Hasil nilai rata-rata *zero corssing point* pada fasa U. Hasil *zero crossing point* keseluruhan *turn fault* memiliki nilai waktu yang lebih kecil daripada waktu *zero crossing point* saat kondisi motor normal. Gambar 4.5. menunjukkan plot grafik nilai rata-rata *zero crossing point* pada semua variasi *turn fault* dan kondisi normal. Perbedaan nilai *zero crossing point* untuk *turn fault* 15-40, *turn fault* 5-40, *turn fault* 3-40, dan *turn fault* 1-40 cukup kecil jika dilihat dari plot grafik. Maka dari itu untuk mengetahui besar eror nilai *zero crossing point* dari setiap *turn fault* penguji merata-ratakan nilai *zero crossing point* untuk semua variasi sudut di satu variasi *turn fault*. Persamaan untuk mencari besar eror *zero crossing point* suatu *turn fault* terhadap kondisi normal adalah sebagai berikut

$$\text{Persentase eror} = \frac{(\text{nilai normal} - \text{nilai turn fault})}{\text{nilai normal}} \times 100\% \quad (4.1)$$

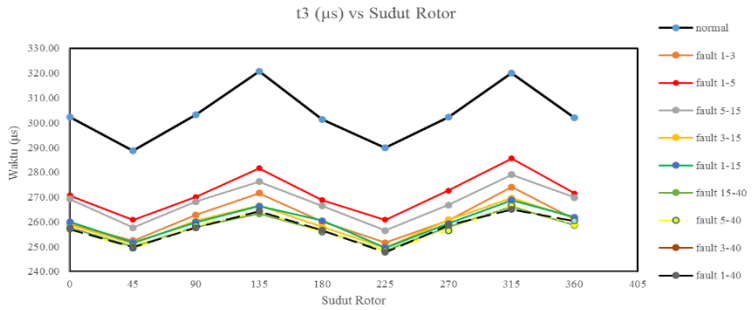
Tabel 4.4. dan tabel 4.5. menunjukkan nilai *zero crossing point* semua variasi sudut di satu variasi *turn fault*. Jika dilihat secara *trendline* yang ditunjukkan dari gambar 4.6. maka persentase eror nilai *zero crossing point* cenderung naik seiring dengan kenaikan besar *turn fault*. Pengertian normal 1-5 adalah setiap pengujian dilakukan 5 kali lalu dirata-rata untuk mendapatkan hasil yang presisi. Kondisi motor normal diambil kelima nilainya untuk mengetahui persentase eror terhadap nilai normal rata-rata.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5. Plot grafik nilai rata-rata zero crossing point fasa U (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3

Tabel 4.4. Hasil perata-rataan nilai rata-rata *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa U.

Variasi Turn	Selisih	Nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
		t1	t2	t3
Normal rata-rata		53.36	177.82	303.37
Normal 1		55.11	181.33	305.44
Normal 2		53.56	178.11	303.56
Normal 3		52.78	176.56	302.56
Normal 4		52.67	176.78	302.22
Normal 5		52.22	179.11	299.33
fault 1-3	2	48.54	156.38	261.40
fault 1-5	3	50.04	161.70	271.34
fault 5-15	10	48.83	157.50	267.75
fault 3-15	12	47.39	152.77	259.60
fault 1-15	14	47.22	151.94	259.73
fault 15-40	25	46.72	150.40	257.35
fault 5-40	35	47.06	151.15	257.29
fault 3-40	37	46.85	150.80	257.35
fault 1-40	39	46.82	151.07	257.44

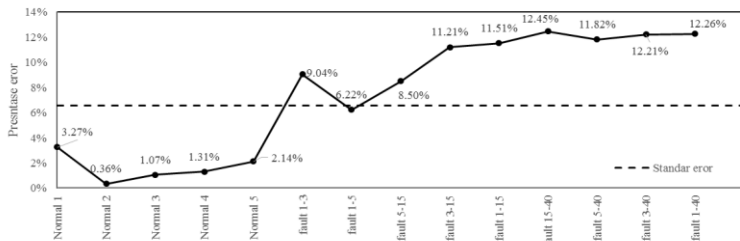
Tabel 4.5. Persentase error nilai rata-rata *zero crossing point* *turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa U.

Variasi Turn	Selisih	Presentase error terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
Normal 1		3.27%	1.98%	0.68%
Normal 2		0.36%	0.17%	0.06%
Normal 3		1.07%	0.70%	0.27%
Normal 4		1.31%	0.58%	0.38%
Normal 5		2.14%	0.73%	1.33%

Tabel 4.5. Persentase error nilai rata-rata *zero crossing point turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa U (lanjutan).

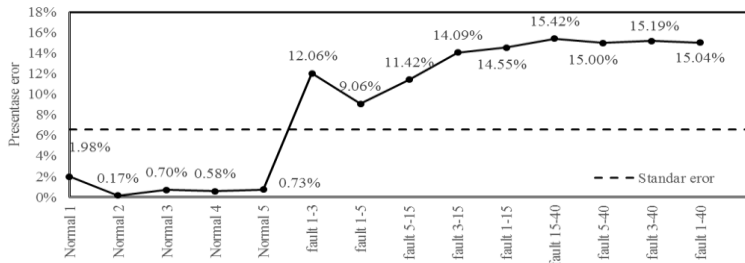
Variasi Turn	Selisih	Presentase error terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
fault 1-3	2	9.04%	12.06%	13.83%
fault 1-5	3	6.22%	9.06%	10.56%
fault 5-15	10	8.50%	11.42%	11.74%
fault 3-15	12	11.21%	14.09%	14.43%
fault 1-15	14	11.51%	14.55%	14.39%
fault 15-40	25	12.45%	15.42%	15.17%
fault 5-40	35	11.82%	15.00%	15.19%
fault 3-40	37	12.21%	15.19%	15.17%
fault 1-40	39	12.26%	15.04%	15.14%

Error Turn Fault Terhadap Normal (t1)

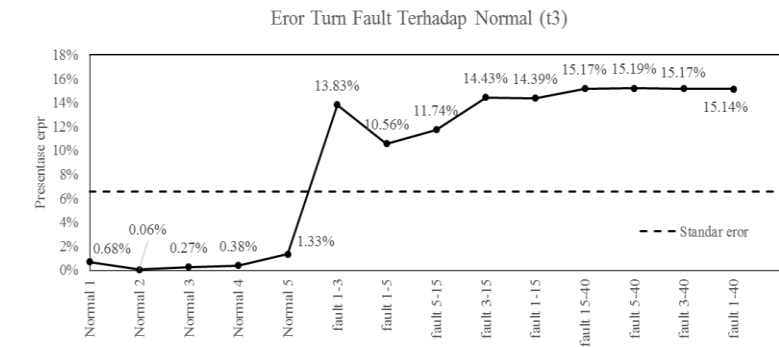


(a)

Error Turn Fault Terhadap Normal (t2)



(b)

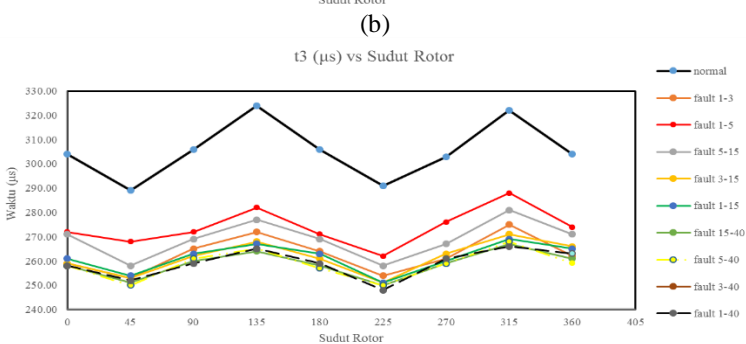
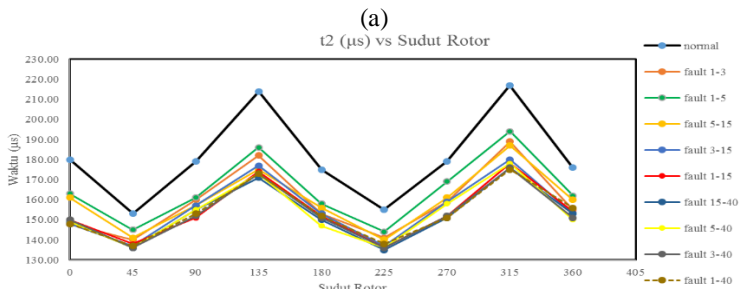
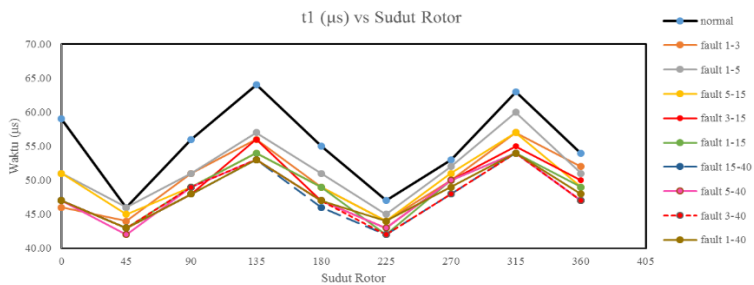


(c)

Gambar 4.6. Grafik persentase eror nilai rata-rata *zero crossing point* variasi *turn fault* fasa U (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3

4.2.1.2. Hasil Nilai Maksimum Zero Crossing Point

Subsubsub bab ini membahas hasil nilai maksimum *zero corssing point* pada fasa U. Hasil *zero crossing point* keseluruhan *turn fault* memiliki nilai waktu yang lebih kecil daripada waktu *zero crossing point* saat kondisi motor normal. Hasil plot grafik nilai maksimum *zero crossing point* variasi *turn fault* dan kondisi motor normal dapat dilihat pada gambar 4.7. Hasil plot grafik nilai maksimum *zero crossing point* menunjukkan nilai maksimum *zero crossing point* variasi *turn fault* memiliki nilai yang lebih kecil daripada kondisi motor normal. Dengan menggunakan cara yang sama pada subsubsub bab 4.2.1.1., hasil nilai perata-rataan *zero crossing point* dan presentase eror dapat dilihat pada tabel 4.6., tabel 4.7. dan gambar 4.8.. Jika dililhat dari gambar 4.8. presentase eror nilai maksimum *zero crossing point* memiliki nilai yang cenderung semakin naik seiring dengan besar *turn fault* yang digunakan.



(a)
(b)
(c)
Gambar 4.7. Plot grafik nilai maksimum *zero crossing point* fasa U (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3

Tabel 4.6. Hasil perata-rataan nilai maksimum *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa U.

Variasi Turn	Selisih	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
		t1	t2	t3
Normal maksimum		55.22	180.89	305.44
Normal 1		55.11	181.33	305.44
Normal 2		53.56	178.11	303.56
Normal 3		52.78	176.56	302.56
Normal 4		52.67	176.78	302.22
Normal 5		52.22	179.11	299.33
fault 1-3	2	49.89	158.56	262.78
fault 1-5	3	51.56	164.67	273.89
fault 5-15	10	49.89	159.78	269.00
fault 3-15	12	48.78	155.67	261.56
fault 1-15	14	48.56	153.89	261.44
fault 15-40	25	47.56	152.89	258.67
fault 5-40	35	48.00	153.56	258.56
fault 3-40	37	47.78	153.00	259.00
fault 1-40	39	48.11	153.67	259.00

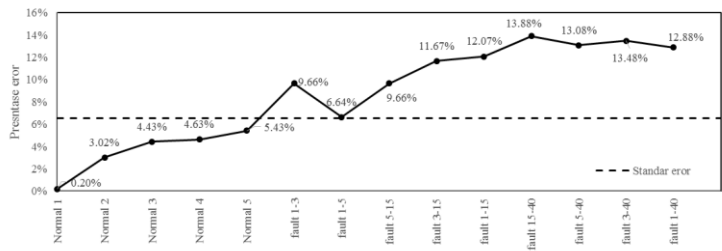
Tabel 4.7. Persentase error nilai maksimum *zero crossing point* *turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa U.

Variasi Turn	Selisih	Presentase error terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
Normal 1		0.20%	0.25%	0.00%
Normal 2		3.02%	1.54%	0.62%
Normal 3		4.43%	2.40%	0.95%
Normal 4		4.63%	2.27%	1.05%
Normal 5		5.43%	0.98%	2.00%

Tabel 4.7. Persentase error nilai maksimum *zero crossing point turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa U (lanjutan).

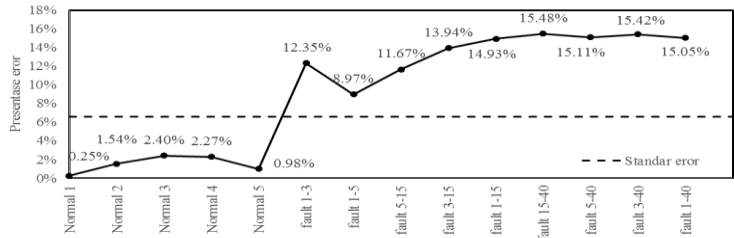
Variasi Turn	Selisih	Presentase error terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
fault 1-3	2	9.66%	12.35%	13.97%
fault 1-5	3	6.64%	8.97%	10.33%
fault 5-15	10	9.66%	11.67%	11.93%
fault 3-15	12	11.67%	13.94%	14.37%
fault 1-15	14	12.07%	14.93%	14.41%
fault 15-40	25	13.88%	15.48%	15.31%
fault 5-40	35	13.08%	15.11%	15.35%
fault 3-40	37	13.48%	15.42%	15.21%
fault 1-40	39	12.88%	15.05%	15.21%

Error Turn Fault Terhadap Normal (t1)

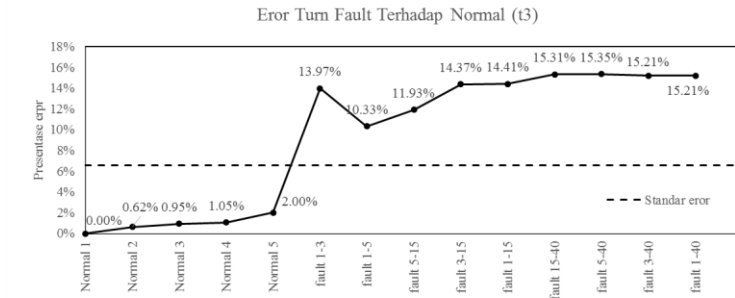


(a)

Error Turn Fault Terhadap Normal (t2)



(b)

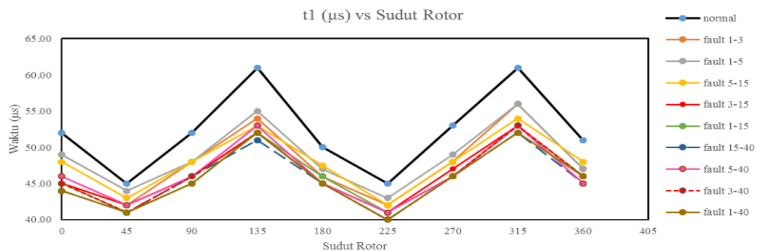


(c)

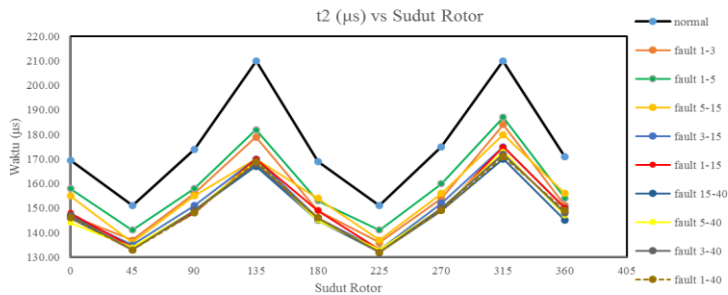
Gambar 4.8. Grafik persentase eror nilai maksimum *zero crossing point* variasi *turn fault* fasa U (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3

4.2.1.3. Hasil Nilai Minimum *Zero Crossing Point*

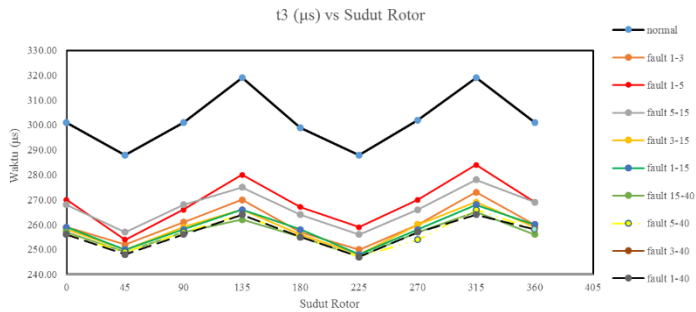
Subsubsub bab ini membahas Hasil nilai minimum *zero crossing point* pada fasa U. Hasil *zero crossing point* keseluruhan *turn fault* memiliki nilai waktu yang lebih kecil daripada waktu *zero crossing point* saat kondisi motor normal. Hasil plot grafik nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* dan kondisi motor normal dapat dilihat pada gambar 4.9. Hasil plot grafik nilai minimum *zero crossing point* menunjukkan nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* memiliki nilai yang lebih kecil daripada kondisi motor normal. Dengan menggunakan cara yang sama pada subsubsub bab 4.2.1.1., hasil nilai perata-rataan *zero crossing point* dan presentase eror dapat dilihat pada tabel 4.8., tabel 4.9. dan gambar 4.10. Jika dilihat dari gambar 4.10. presentase eror nilai minimum *zero crossing point* memiliki nilai yang cenderung semakin naik seiring dengan besar *turn fault* yang digunakan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.9. Plot grafik nilai minimum *zero crossing point* fasa U (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3

Tabel 4.8. Hasil perata-rataan nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa U.

Variasi Turn	Selisih	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
		t1	t2	t3
Normal minimum		52.22	175.61	302.00
Normal 1		55.11	181.33	305.44
Normal 2		53.56	178.11	303.56
Normal 3		52.78	176.56	302.56
Normal 4		52.67	176.78	302.22

Tabel 4.8. Hasil perata-rataan nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa U (lanjutan).

Variasi Turn	Selisih	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
		t1	t2	t3
Normal 5		52.22	179.11	299.33
fault 1-3	2	47.56	154.78	260.22
fault 1-5	3	48.67	159.33	268.78
fault 5-15	10	47.94	155.44	266.78
fault 3-15	12	46.33	151.00	258.33
fault 1-15	14	46.11	150.67	258.33
fault 15-40	25	45.56	148.44	256.11
fault 5-40	35	46.33	149.33	256.22
fault 3-40	37	46.00	149.44	256.33
fault 1-40	39	45.67	149.22	256.11

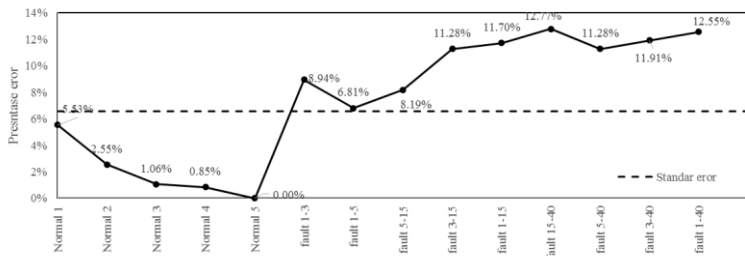
Tabel 4.9. Persentase eror nilai minimum *zero crossing point* *turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa U.

Variasi Turn	Selisih	Presentase eror terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
Normal 1		5.53%	3.26%	1.14%
Normal 2		2.55%	1.42%	0.52%
Normal 3		1.06%	0.54%	0.18%
Normal 4		0.85%	0.66%	0.07%
Normal 5		0.00%	1.99%	0.88%
fault 1-3	2	8.94%	11.86%	13.83%
fault 1-5	3	6.81%	9.27%	11.00%
fault 5-15	10	8.19%	11.48%	11.66%
fault 3-15	12	11.28%	14.01%	14.46%
fault 1-15	14	11.70%	14.20%	14.46%

Tabel 4.9. Persentase eror nilai minimum *zero crossing point turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa U (lanjutan).

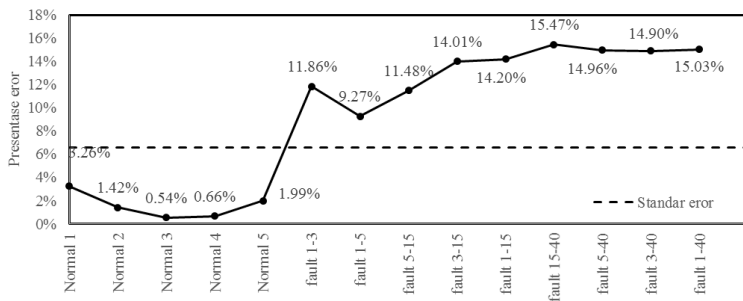
Variasi Turn	Selisih	Presentase eror terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
fault 15-40	25	12.77%	15.47%	15.19%
fault 5-40	35	11.28%	14.96%	15.16%
fault 3-40	37	11.91%	14.90%	15.12%
fault 1-40	39	12.55%	15.03%	15.19%

Eror Turn Fault Terhadap Normal (t1)

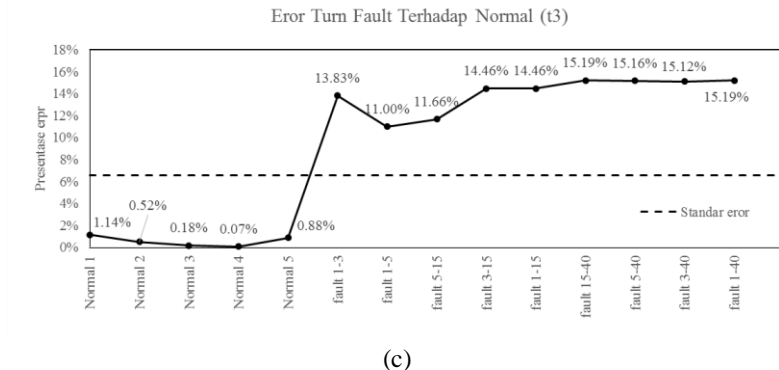


(a)

Eror Turn Fault Terhadap Normal (t2)



(b)



Gambar 4.10. Grafik persentase eror nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* fasa U (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3

4.2.1.4. Identifikasi Kerusakan Variasi Turn Fault pada Fasa U

Subsubsub bab ini membahas identifikasi kerusakan hasil *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa U. Sebagaimana dituliskan pada sub bab 2.7. mengenai kriteria lulus tidaknya sebuah motor induksi berdasarkan presentase eror *zero crossing point* yang dihasilkan, standar eror yang digunakan pada pengujian ini adalah 6.56%. Hal ini berdasarkan jika dilihat dari presentase eror *zero crossing point* pada kondisi normal 1 sampai dengan 5 mempunyai nilai tersebasr 6.56% dari nilai rata-rata, maksimum, dan minimum. Hasil lulus dan tidaknya variasi *turn fault* dapat dilihat pada tabel 4.10.. Tabel 4.10. menunjukkan presentase eror semua variasi *turn fault* memiliki presentase eror diatas 6.56% baik pada t_1 , t_2 , dan t_3 . Oleh sebab itu semua variasi *turn vault* yang digunakan pada percobaan ini sudah dikategorikan sebagai kegagalan isolasi antar *turn*.

Tabel 4.10. Hasil Lulus/Tidak Variasi *Turn Fault* pada Fasa U (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3

(a)

Variasi Turn	t1			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
fault 1-3	9.04%	9.66%	8.94%	<i>FAIL</i>
fault 1-5	6.22%	6.64%	6.81%	<i>FAIL</i>
fault 5-15	8.50%	9.66%	8.19%	<i>FAIL</i>
fault 3-15	11.21%	11.67%	11.28%	<i>FAIL</i>
fault 1-15	11.51%	12.07%	11.70%	<i>FAIL</i>
fault 15-40	12.45%	13.88%	12.77%	<i>FAIL</i>
fault 5-40	11.82%	13.08%	11.28%	<i>FAIL</i>
fault 3-40	12.21%	13.48%	11.91%	<i>FAIL</i>
fault 1-40	12.26%	12.88%	12.55%	<i>FAIL</i>

(b)

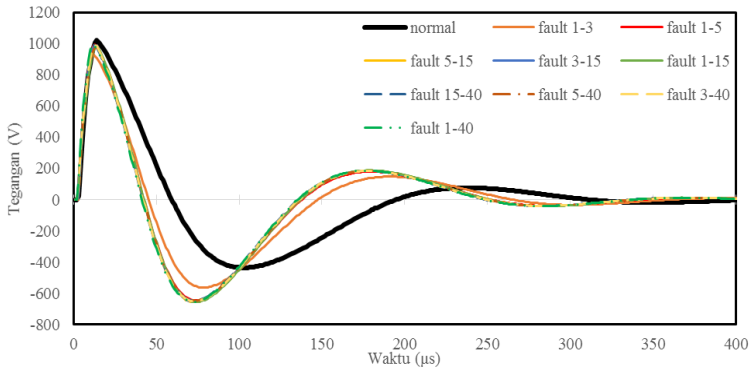
Variasi Turn	t2			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
fault 1-3	12.06%	12.35%	11.86%	<i>FAIL</i>
fault 1-5	9.06%	8.97%	9.27%	<i>FAIL</i>
fault 5-15	11.42%	11.67%	11.48%	<i>FAIL</i>
fault 3-15	14.09%	13.94%	14.01%	<i>FAIL</i>
fault 1-15	14.55%	14.93%	14.20%	<i>FAIL</i>
fault 15-40	15.42%	15.48%	15.47%	<i>FAIL</i>
fault 5-40	15.00%	15.11%	14.96%	<i>FAIL</i>
fault 3-40	15.19%	15.42%	14.90%	<i>FAIL</i>
fault 1-40	15.04%	15.05%	15.03%	<i>FAIL</i>

(c)

Variasi Turn	t3			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
fault 1-3	13.83%	13.97%	13.83%	<i>FAIL</i>
fault 1-5	10.56%	10.33%	11.00%	<i>FAIL</i>
fault 5-15	11.74%	11.93%	11.66%	<i>FAIL</i>
fault 3-15	14.43%	14.37%	14.46%	<i>FAIL</i>
fault 1-15	14.39%	14.41%	14.46%	<i>FAIL</i>
fault 15-40	15.17%	15.31%	15.19%	<i>FAIL</i>
fault 5-40	15.19%	15.35%	15.16%	<i>FAIL</i>
fault 3-40	15.17%	15.21%	15.12%	<i>FAIL</i>
fault 1-40	15.14%	15.21%	15.19%	<i>FAIL</i>

4.2.2. Pengujian Variasi Turn Fault pada Fasa V

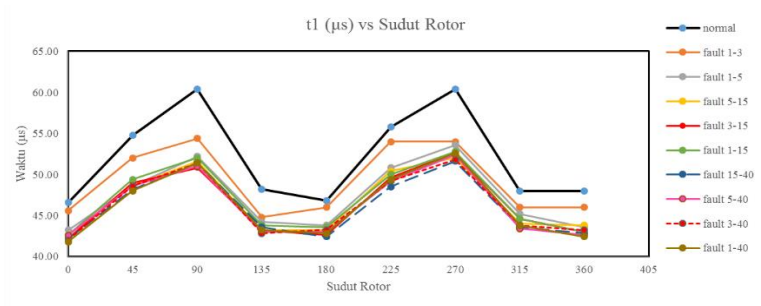
Sub bab ini membahas hasil dan analisa pengujian motor induksi 3 fasa dengan *turn fault* pada fasa V. *Turn fault* yang digunakan pada pengujian ini yaitu *turn fault* 1-3, *turn fault* 1-5, *turn fault* 5-15, *turn fault* 3-15, *turn fault* 1-15, *turn fault* 15-40, *turn fault* 5-40, *turn fault* 3-40, dan *turn fault* 1-40. Pemilihan *turn fault* berdasarkan besar selisih *turn fault* yang semakin besar. Setiap *turn fault* juga memiliki variasi sudut rotor yang digunakan pada pengujian kondisi normal yaitu sudut 0°, 45 °, 90 °, 135 °, 180 °, 225 °, 270 °, dan 360 °. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan karaktersitik respon tegangan surja dengan membandingkan hasil *zero crossing point* yang diperoleh pada kondisi *turn fault* dan kondisi motor normal tanpa *turn fault*. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui variasi *turn fault* yang digunakan sudah termasuk kategori kegagalan isolasi antar *turn* atau tidak. Gambar 4.11. menunjukkan hasil respon tes surja sudut 0° dalam kondisi normal dan variasi *turn fault* pada fasa V.



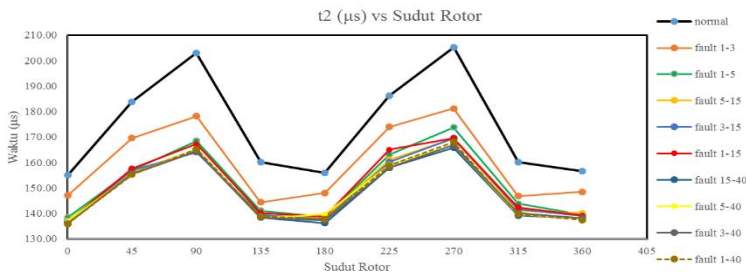
Gambar 4.11. Respon tes surja dalam kondisi normal dan variasi *turn fault* pada fasa V

4.2.2.1. Hasil Nilai Rata-Rata Zero Crossing point

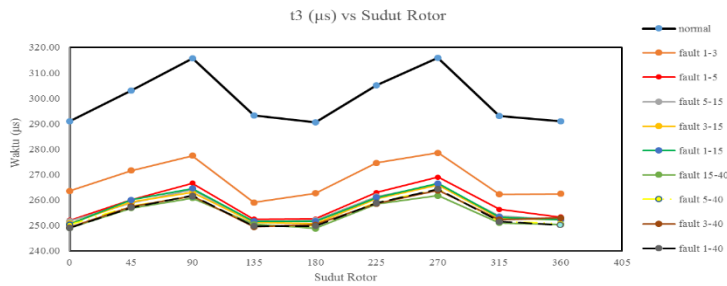
Subsubsub bab ini membahas Hasil nilai rata-rata *zero crossing point* pada fasa V. Gambar 4.12. menunjukkan plot grafik nilai rata-rata *zero crossing point* pada semua variasi *turn fault* dan kondisi normal. Hasil *zero crossing point* keseluruhan *turn fault* memiliki nilai waktu yang lebih kecil daripada waktu *zero crossing point* saat kondisi motor normal. Perbedaan nilai *zero crossing point* untuk *turn fault* 15-40, *turn fault* 5-40, *turn fault* 3-40, dan *turn fault* 1-40 cukup kecil jika dilihat dari plot grafik. Maka dari itu digunakan cara yang sama untuk melihat presentase eror pada subsubsub bab 4.2.1.1.. Hasil perata-rataan nilai *zero crossing point* dan presentase eror dapat dilihat pada tabel 4.11, 4.12, dan gambar 4.13. Jika dilihat dari gambar 4.13 presentase eror nilai rata-rata *zero crossing point* memiliki nilai yang cenderung semakin naik seiring dengan besar *turn fault* yang digunakan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.12. Plot grafik nilai rata-rata *zero crossing point* fasa V (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3

Tabel 4.11. Hasil perata-rataan nilai rata-rata *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa V

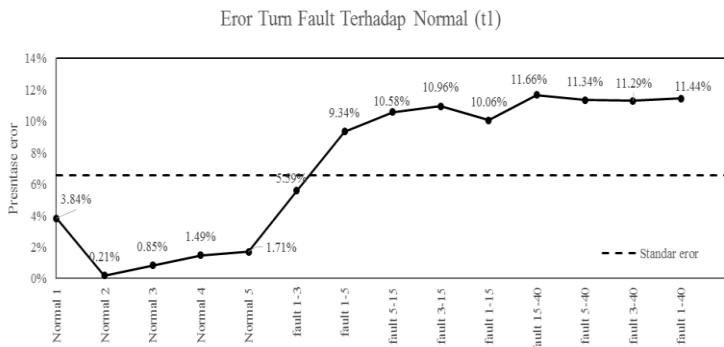
Variasi Turn	Selisih	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
		t1	t2	t3
Normal Rata-rata		52.11	173.99	299.84
Normal 1		54.11	177.11	302.11
Normal 2		52.22	174.33	299.44
Normal 3		51.67	173.00	299.11
Normal 4		51.33	172.67	298.89
Normal 5		51.22	172.89	300.00
fault 1-3	2	49.20	156.38	261.40
fault 1-5	4	47.24	151.51	258.36
fault 5-15	10	46.60	149.64	256.80
fault 3-15	12	46.40	149.47	256.28
fault 1-15	14	46.87	150.72	256.81
fault 15-40	25	46.03	147.93	254.17
fault 5-40	35	46.20	148.75	254.94
fault 3-40	37	46.23	148.29	255.05
fault 1-40	39	46.15	148.53	254.68

Tabel 4.12. Persentase eror nilai rata-rata *zero crossing point* *turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa V.

Variasi Turn	Selisih	Presentase eror terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
Normal 1		3.84%	1.79%	0.76%
Normal 2		0.21%	0.19%	0.13%
Normal 3		0.85%	0.57%	0.24%
Normal 4		1.49%	0.76%	0.32%

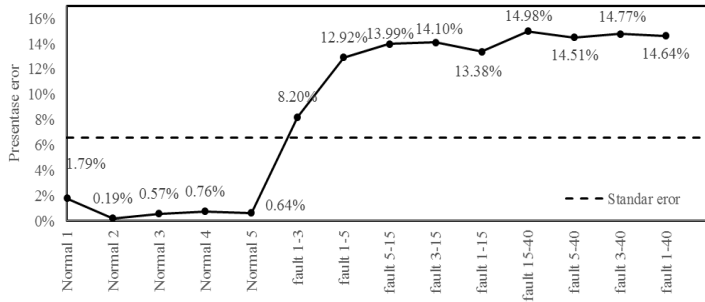
Tabel 4.12. Persentase eror nilai rata-rata *zero crossing point turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa V (lanjutan).

Variasi Turn	Selisih	Presentase eror terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
Normal 5		1.71%	0.64%	0.05%
fault 1-3	2	5.59%	10.12%	12.82%
fault 1-5	3	9.34%	12.92%	13.84%
fault 5-15	10	10.58%	13.99%	14.36%
fault 3-15	12	10.96%	14.10%	14.53%
fault 1-15	14	10.06%	13.38%	14.35%
fault 15-40	25	11.66%	14.98%	15.23%
fault 5-40	35	11.34%	14.51%	14.97%
fault 3-40	37	11.29%	14.77%	14.94%
fault 1-40	39	11.44%	14.64%	15.06%



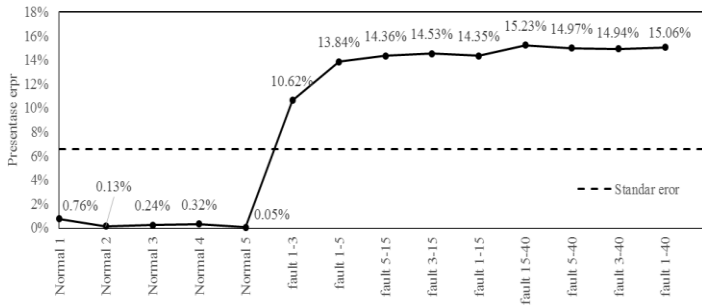
(a)

Eror Turn Fault Terhadap Normal (t2)



(b)

Eror Turn Fault Terhadap Norml (t3)



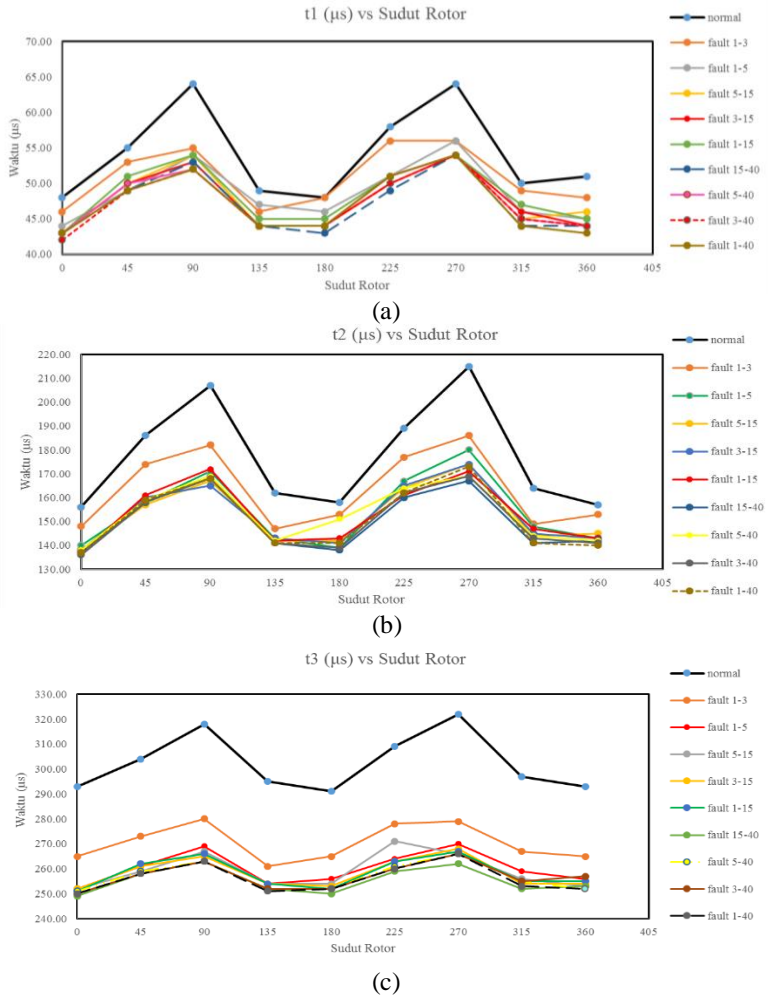
(c)

Gambar 4.13. Grafik persentase eror nilai rata-rata *zero crossing point* variasi *turn fault* fasa V (a) t₁ (b) t₂ (c) t₃

4.2.2.2. Hasil Nilai Maksimum Zero Crossing Point

Subsubsub bab ini membahas Hasil nilai maksimum *zero corssing point* pada fasa V. Hasil *zero crossing point* keseluruhan *turn fault* memiliki nilai waktu yang lebih kecil daripada waktu *zero crossing point* saat kondisi motor normal. Hasil plot grafik nilai maksimum *zero crossing point* variasi *turn fault* dan kondisi motor normal dapat dilihat pada gambar 4.14. Hasil plot grafik nilai maksimum *zero crossing point* menunjukkan nilai maksimum *zero crossing point* variasi *turn fault* memiliki nilai yang lebih kecil daripada kondisi motor normal. Dengan

menggunakan cara yang sama pada subsubsub bab 4.2.1.1., hasil nilai perata-rataan *zero crossing point* dan presentase eror dapat dilihat pada tabel 4.13., tabel 4.14. dan gambar 4.15. Jika dilihat dari gambar 4.15. presentase eror nilai maksimum *zero crossing point* memiliki nilai yang cenderung semakin naik seiring dengan besar *turn fault* yang digunakan.



Gambar 4.14. Plot grafik nilai maksimum *zero crossing point* fasa V (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3

Tabel 4.13. Hasil perata-rataan nilai maksimum *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa V.

Variasi Turn	Selisih	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
		t1	t2	t3
Normal maksimum		54.11	177.11	302.44
Normal 1		54.11	177.11	302.11
Normal 2		52.22	174.33	299.44
Normal 3		51.67	173.00	299.11
Normal 4		51.33	172.67	298.89
Normal 5		51.22	172.89	300.00
fault 1-3	2	50.78	163.22	270.33
fault 1-5	4	48.67	154.33	260.11
fault 5-15	10	47.89	152.56	259.11
fault 3-15	12	47.56	152.67	258.22
fault 1-15	14	48.33	153.00	258.33
fault 15-40	25	47.00	150.33	255.33
fault 5-40	35	47.44	153.11	256.78
fault 3-40	37	47.11	150.78	257.00
fault 1-40	39	47.11	151.33	256.11

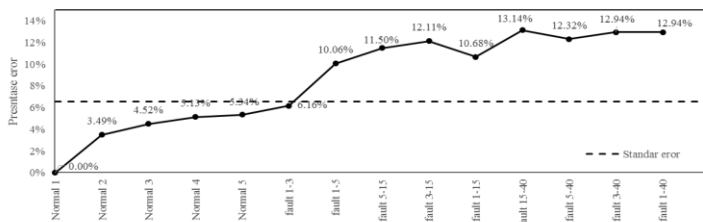
Tabel 4.13. Persentase eror nilai maksimum *zero crossing point turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa V.

Variasi Turn	Selisih	Presentase eror terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
Normal 1		0.00%	0.00%	0.11%
Normal 2		3.49%	1.57%	0.99%
Normal 3		4.52%	2.32%	1.10%
Normal 4		5.13%	2.51%	1.18%

Tabel 4.14. Persentase eror nilai maksimum *zero crossing point turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa V (lanjutan).

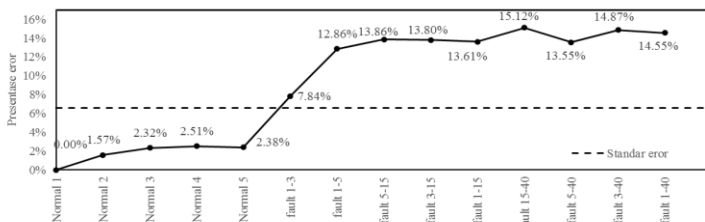
Variasi Turn	Selisih	Presentase eror terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
Normal 5		5.34%	2.38%	0.81%
fault 1-3	2	6.16%	7.84%	10.62%
fault 1-5	3	10.06%	12.86%	14.00%
fault 5-15	10	11.50%	13.86%	14.33%
fault 3-15	12	12.11%	13.80%	14.62%
fault 1-15	14	10.68%	13.61%	14.58%
fault 15-40	25	13.14%	15.12%	15.58%
fault 5-40	35	12.32%	13.55%	15.10%
fault 3-40	37	12.94%	14.87%	15.03%
fault 1-40	39	12.94%	14.55%	15.32%

Error Turn Fault Terhadap Normal (t1)

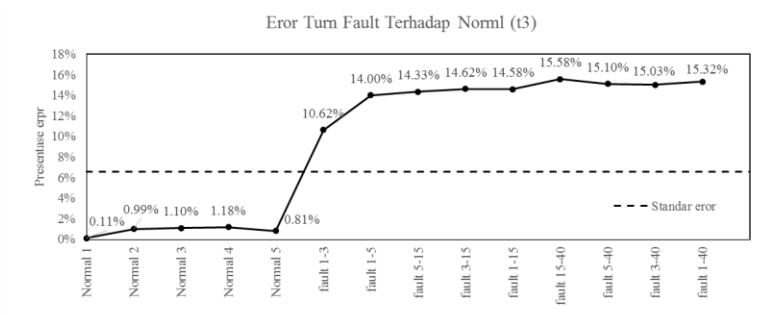


(a)

Error Turn Fault Terhadap Normal (t2)



(b)

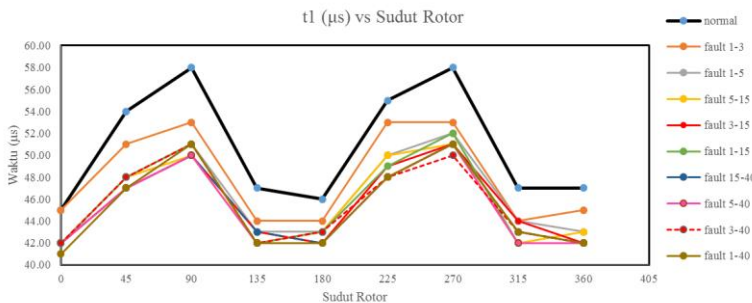


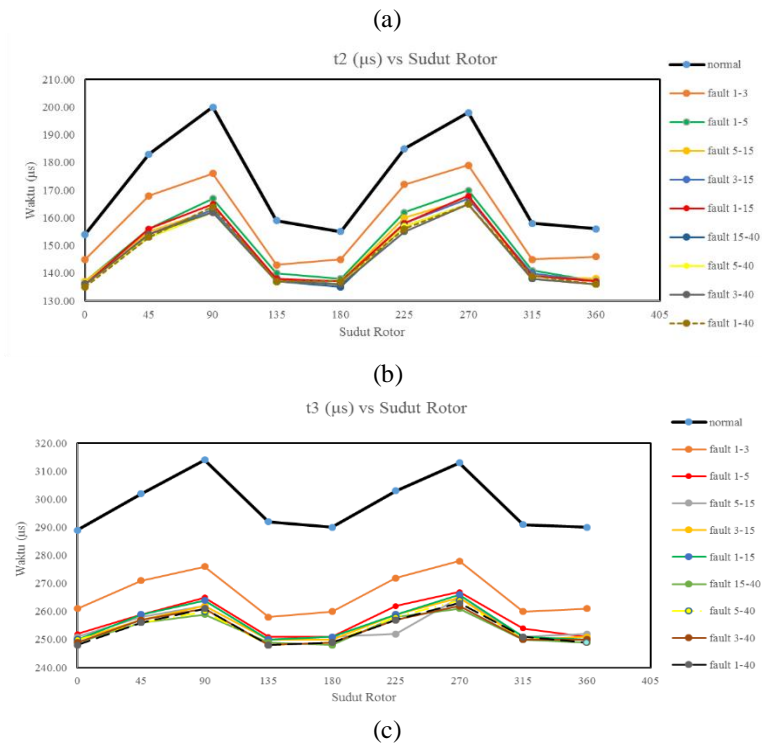
(c)

Gambar 4.15. Grafik persentase eror nilai maksimum *zero crossing point* variasi *turn fault* fasa V (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3

4.2.2.3. Hasil Nilai Minimum Zero Crossing Point

Subsubsub bab ini membahas Hasil nilai minimum *zero corssing point* pada fasa V. Hasil *zero crossing point* keseluruhan *turn fault* memiliki nilai waktu yang lebih kecil daripada waktu *zero crossing point* saat kondisi motor normal. Hasil plot grafik nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* dan kondisi motor normal dapat dilihat pada gambar 4.16. Hasil plot grafik nilai minimum *zero crossing point* menunjukkan nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* memiliki nilai yang lebih kecil daripada kondisi motor normal. Dengan menggunakan cara yang sama pada subsubsub bab 4.2.1.1., hasil nilai perata-rataan *zero crossing point* dan presentase eror dapat dilihat pada tabel 4.15., tabel 4.16. dan gambar 4.17. Jika dilihat dari gambar 4.17. presentase eror nilai minimum *zero crossing point* memiliki nilai yang cenderung semakin naik seiring dengan besar *turn fault* yang digunakan.





Gambar 4.16. Plot grafik nilai minimum *zero crossing point* fasa V (a) t_1 , (b) t_2 (c) t_3

Tabel 4.15. Hasil perata-rataan nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa V.

Variasi Turn	Selisih	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
		t1	t2	t3
Normal minimum		50.78	172.00	298.22
Normal 1		54.11	177.11	302.11
Normal 2		52.22	174.33	299.44
Normal 3		51.67	173.00	299.11

Tabel 4.15. Hasil perata-rataan nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa V (lanjutan).

Variasi Turn	Selisih	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
		t1	t2	t3
Normal 4		51.33	172.67	298.89
Normal 5		51.22	172.89	300.00
fault 1-3	2	48.00	157.67	266.33
fault 1-5	4	46.22	149.78	256.89
fault 5-15	10	45.67	148.11	254.67
fault 3-15	12	45.56	147.67	254.89
fault 1-15	14	45.67	148.22	255.56
fault 15-40	25	45.33	146.56	253.22
fault 5-40	35	45.11	146.67	253.89
fault 3-40	37	45.44	146.56	253.67
fault 1-40	39	45.22	146.89	253.56

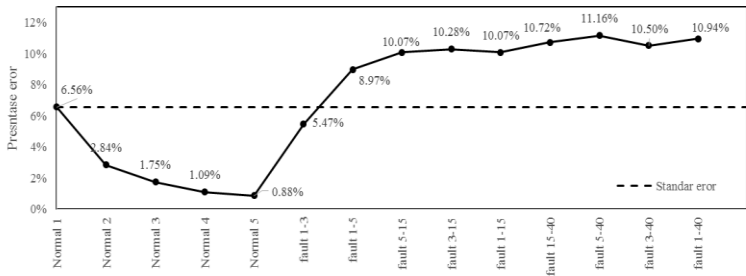
Tabel 4.16. Persentase eror nilai minimum *zero crossing point* *turn fault* terhadap kondisi normal pada fasa V.

Variasi Turn	Selisih	Presentase eror terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
Normal 1		3.84%	1.79%	0.76%
Normal 2		0.21%	0.19%	0.13%
Normal 3		0.85%	0.57%	0.24%
Normal 4		1.49%	0.76%	0.32%
Normal 5		1.71%	0.64%	0.05%
fault 1-3	2	5.47%	8.33%	10.69%
fault 1-5	3	8.97%	12.92%	13.86%
fault 5-15	10	10.07%	13.89%	14.61%
fault 3-15	12	10.28%	14.15%	14.53%

Tabel 4.16. Persentase eror nilai minimum *zero crossing point turn fault* terhadap kondisi normal pada fas a V (lanjutan).

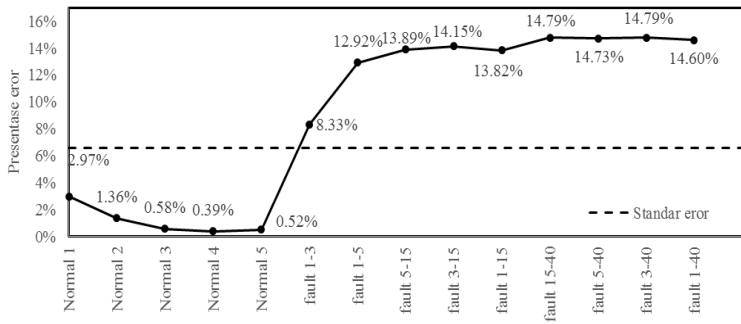
Variasi Turn	Selisih	Presentase eror terhadap kondisi normal (%)		
		t1	t2	t3
fault 1-15	14	10.07%	13.82%	14.31%
fault 15-40	25	10.72%	14.79%	15.09%
fault 5-40	35	11.16%	14.73%	14.87%
fault 3-40	37	10.50%	14.79%	14.94%
fault 1-40	39	10.94%	14.60%	14.98%

Eror Turn Fault Terhadap Normal (t1)

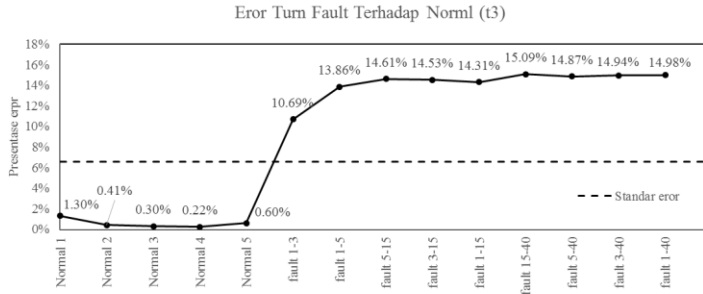


(a)

Eror Turn Fault Terhadap Normal (t2)



(b)



(c)

Gambar 4.17. Grafik persentase eror nilai minimum *zero crossing point* variasi *turn fault* fasa V (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3

4.2.2.4. Identifikasi Kerusakan Variasi *Turn Fault* pada Fasa V

Subsubsub bab ini membahas identifikasi kerusakan hasil *zero crossing point* variasi *turn fault* pada fasa V. Sebagaimana dituliskan pada sub bab 2.7. mengenai kriteria lulus tidaknya sebuah motor induksi berdasarkan presentase eror *zero crossing point* yang dihasilkan standar eror yang digunakan pada pengujian ini adalah 6.56%. Hal ini berdasarkan jika dilihat dari presentase eror *zero crossing point* pada kondisi normal 1 sampai dengan 5 mempunyai nilai tersebasr 6.56% dari nilai rata-rata, maksimum, dan minimum. Hasil lulus dan tidaknya variasi *turn fault* dapat dilihat pada tabel 4.17.. Tabel 4.17. menunjukkan presentase eror pada t_1 variasi *turn fault* 1-3, memiliki presentase eror dibawah 6.56%. Presentase eror pada t_2 dan t_3 menunjukkan semua variasi *turn fault* memiliki presentase eror diatas 6.56% Nilai *zero crossing point* yang sering diperhatikan pada pengujian tes surja adalah t_1 [3][4][8] sehingga *turn fault* yang tidak dikategorikan kegagalan isolasi adalah *turn fault* 1-3. Namun jika dilihat secara keseluruhan t_1 , t_2 , dan t_3 semua variasi *turn fault* dikategorikan kegagalan isolasi antar *turn*.

Tabel 4.17. Hasil Lulus/Tidak Variasi *Turn Fault* pada Fasa V (a) t₁ (b) t₂ (c) t₃

(a)

Variasi Turn	t ₁			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
fault 1-3	5.59%	6.16%	5.47%	<i>PASS</i>
fault 1-5	9.34%	10.06%	8.97%	<i>FAIL</i>
fault 5-15	10.58%	11.50%	10.07%	<i>FAIL</i>
fault 3-15	10.96%	12.11%	10.28%	<i>FAIL</i>
fault 1-15	10.06%	10.68%	10.07%	<i>FAIL</i>
fault 15-40	11.66%	13.14%	10.72%	<i>FAIL</i>
fault 5-40	11.34%	12.32%	11.16%	<i>FAIL</i>
fault 3-40	11.29%	12.94%	10.50%	<i>FAIL</i>
fault 1-40	11.44%	12.94%	10.94%	<i>FAIL</i>

(b)

Variasi Turn	t ₂			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
fault 1-3	8.20%	7.84%	8.33%	<i>FAIL</i>
fault 1-5	12.92%	12.86%	12.92%	<i>FAIL</i>
fault 5-15	13.99%	13.86%	13.89%	<i>FAIL</i>
fault 3-15	14.10%	13.80%	14.15%	<i>FAIL</i>
fault 1-15	13.38%	13.61%	13.82%	<i>FAIL</i>
fault 15-40	14.98%	15.12%	14.79%	<i>FAIL</i>
fault 5-40	14.51%	13.55%	14.73%	<i>FAIL</i>
fault 3-40	14.77%	14.87%	14.79%	<i>FAIL</i>
fault 1-40	14.64%	14.55%	14.60%	<i>FAIL</i>

(c)

Variasi Turn	t ₃			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
fault 1-3	10.62%	10.62%	10.69%	<i>FAIL</i>

Tabel 4.17. Hasil Lulus/Tidak Variasi *Turn Fault* pada Fasa V (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3 (lanjutan)

Variasi Turn	t_1			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
fault 1-5	13.84%	14.00%	13.86%	<i>FAIL</i>
fault 5-15	14.36%	14.33%	14.61%	<i>FAIL</i>
fault 3-15	14.53%	14.62%	14.53%	<i>FAIL</i>
fault 1-15	14.35%	14.58%	14.31%	<i>FAIL</i>
fault 15-40	15.23%	15.58%	15.09%	<i>FAIL</i>
fault 5-40	14.97%	15.10%	14.87%	<i>FAIL</i>
fault 3-40	14.94%	15.03%	14.94%	<i>FAIL</i>
fault 1-40	15.06%	15.32%	14.98%	<i>FAIL</i>

Hasil *zero corssing point* pada keseluruhan *turn fault* memiliki nilai waktu yang lebih kecil daripada waktu *zero crossing point* saat kondisi motor normal. Besar eror *zero crossing point* variasi *turn fault* cenderung semakin besar seiring dengan jumlah *turn fault* yang digunakan. Perubahan nilai *zero crossing point* dipengaruhi oleh besar induktansi ekuivalen (L_{eq}) motor tersebut[3]. Hubungan antara induktansi dan *zero crossing point* adalah sebanding dimana jika nilai induktansi semakin kecil maka waktu *zero crossing point* tegangan surja juga semakin cepat[2][9]. Nilai induktansi dari motor induksi jika diberlakukan *turn fault* maka nilai induktansi tersebut memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi motor normal. Semakin besar *turn fault* yang diberlakukan maka semakin kecil nilai induktansi dari motor. Nilai induktansi motor induksi dapat dilihat pada tabel 4.18. Tabel 4.18. menunjukkan besar nilai induktansi semakin kecil seiring dengan jumlah *turn fault* yang meningkat. Namun untuk *turn fault* 15-40, *turn fault* 5-40, *turn fault* 3-40 dan *turn fault* 1-40 memiliki selisih nilai induktansi yang tidak jauh besar baik pada fasa U dan fasa V. Hal ini yang menyebabkan nilai *zero crossing point* serta persentase eror pada ke tiga *turn fault* tersebut tidak jauh berbeda.

Tabel 4.18. Nilai induktansi motor induksi variasi *turn fault* (a) fasa U
(b) fasa V.

(a)

	Induknasi Belitan (mH)								
Sudut rotor	0	45	90	135	180	225	270	315	360
normal	85.55	80.08	85.23	80.16	84.96	79.78	85.46	80.65	85.55
fault 1-3	83.93	78.61	83.68	78.62	83.33	78.38	83.88	79.3	83.95
fault 1-5	80.55	75.63	80.07	75.24	79.42	74.88	80.15	76.23	80.58
fault 5-15	71.77	67.24	70.93	66.15	69.45	65.72	70.68	67.88	71.78
fault 3-15	70.75	66.33	70.04	65.09	68.53	64.79	69.81	67.03	70.78
fault 1-15	69.93	65.54	69.18	64.33	67.7	63.77	68.9	66.21	69.95
fault 15-40	67.39	62.94	66.46	61.43	64.8	61.18	66.19	63.62	67.38
fault 5-40	67.13	62.63	66.19	61.2	64.63	60.93	65.87	63.33	67.17
fault 3-40	67.12	62.53	66.15	61.25	64.58	61.04	65.94	63.42	67.11
fault 1-40	67.13	62.64	66.09	61.32	64.58	60.98	65.95	63.43	67.12

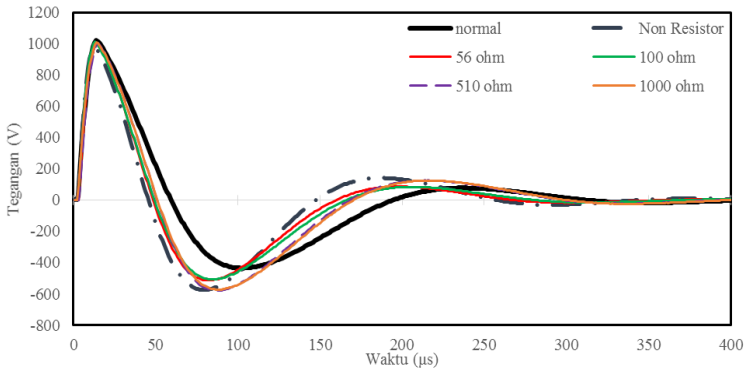
(b)

	Induknasi Belitan (mH)								
Sudut Rotor	0	45	90	135	180	225	270	315	360
normal	85.55	80.08	85.23	80.16	84.96	79.78	85.46	80.65	85.55
fault 1-3	80.34	76.95	80.33	76.57	80.38	76.67	80.74	77.31	80.34
fault 1-5	77.15	73.79	76.85	72.96	76.89	73.58	77.70	73.91	77.37
fault 5-15	69.33	65.80	67.74	64.46	68.24	65.56	69.29	66.49	69.32
fault 3-15	67.54	64.65	66.51	63.36	67.05	64.40	68.27	65.24	67.97
fault 1-15	67.21	63.76	66.15	62.70	66.27	63.87	67.65	64.88	67.24
fault 15-40	65.31	60.92	63.08	59.46	63.64	60.88	65.05	61.79	65.27
fault 5-40	64.90	60.64	62.66	59.57	63.76	60.51	64.69	61.16	65.15
fault 3-40	64.02	60.66	62.65	59.35	63.08	60.53	64.53	61.54	64.06
fault 1-40	63.84	60.62	62.78	59.31	62.83	60.68	64.08	61.91	63.94

4.3. Pengujian Tes Surja pada *Turn Fault* 5-40 dengan Penambahan Resistor

Sub bab ini membahas hasil pengujian tes surja pada *turn fault* 5-40 dengan penambahan resistor. Besar resistor yang digunakan pada pengujian ini yaitu 56 ohm, 100 ohm, 510 ohm, dan 1000 ohm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari penambahan resistor pada suatu *turn fault*. Pengujian ini juga bertujuan untuk melihat sensitifitas tes surja jika pada suatu *turn fault* ditambahkan dengan resistor. Pengujian dilakukan dengan variasi sudut rotor 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 360° untuk setiap resistor yang digunakan. Hasil *zero crossing point* yang diperoleh dari penambahan resistor pada *turn fault* 5-40

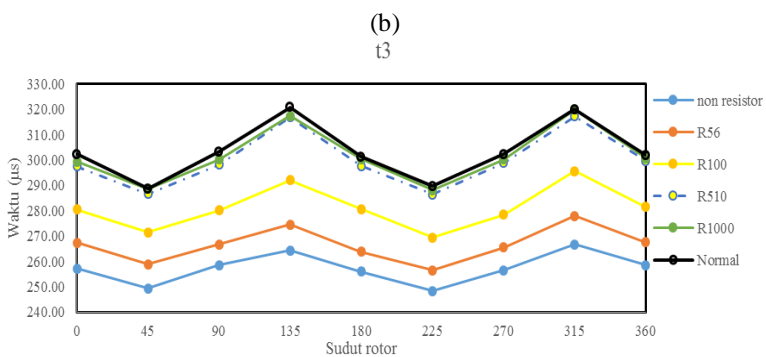
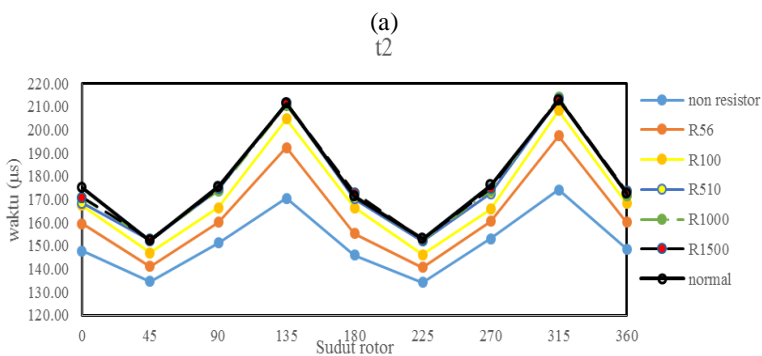
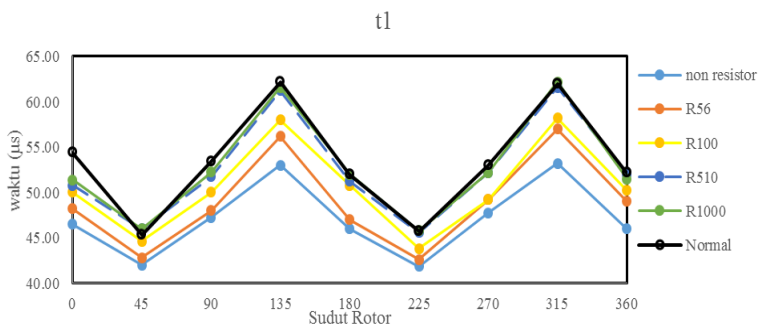
dibandingkan dengan nilai *zero crossing point* pada kondisi motor normal tanpa *turn fault*. Gambar 4.18. menunjukkan hasil respon tes surja sudut 0° dalam kondisi normal dan variasi resistor pada *turn fault* 5-40.



Gambar 4.18. Respon tes surja dalam kondisi normal dan variasi resistor

4.3.1. Hasil Nilai Rata-Rata *Zero Crossing Point*

Pada subsub bab ini dibahas hasil nilai rata-rata *zero crossing point* t_1 , t_2 , dan t_3 penambahan resistor pada *turn fault* 5-40. Plot grafik nilai rata-rata *zero crossing point* variasi resistor dapat dilihat pada gambar 4.19.. Gambar 4.19. menunjukkan nilai rata-rata *zero crossing point* dengan penambahan resistor pada *turn fault* 5-40 mempunyai hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai rata-rata *zero crossing point* *turn fault* 5-40 tanpa penambahan resistor. Nilai rata-rata *zero crossing point* variasi resistor pada *turn fault* 5-40 semakin mendekati nilai rata-rata *zero crossing point* kondisi motor normal seiring dengan penambahan resistor yang semakin besar. Untuk mengetahui presentase eror *zero crossing point* variasi resistor digunakan cara yang sama pada subsubsub bab 4.2.1.1. Hasil perata-rataan dan presentase eror *zero crossing point* dapat dilihat pada tabel 4.19., tabel 4.20., dan gambar 4.20..



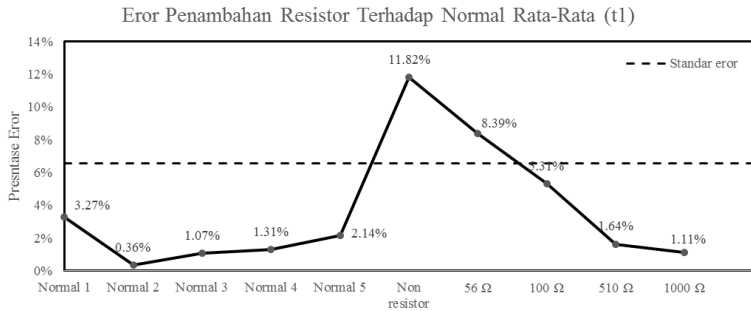
Gambar 4.19. Plot grafik nilai rata-rata zero crossing point penambahan resistor pada *turn fault* 5-40 dan normal (a) t₁ (b) t₂ (c) t₃

Tabel 4.19. Hasil perata-rataan nilai rata-rata *zero crossing point* variasi resistor

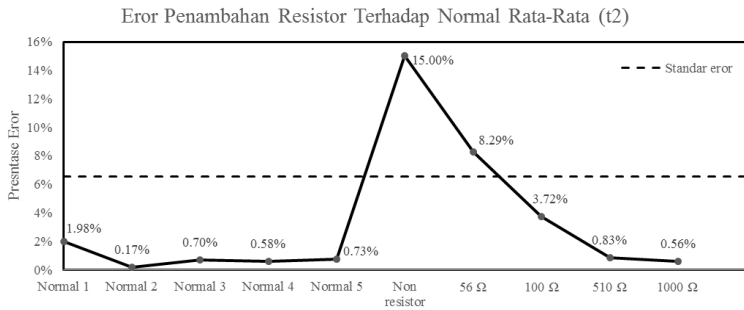
Variasi Resistor	Nilai rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
	t1	t2	t3
Normal rata-rata	53.36	177.82	303.37
Normal 1	55.11	181.33	305.44
Normal 2	53.56	178.11	303.56
Normal 3	52.78	176.56	302.56
Normal 4	52.67	176.78	302.22
Normal 5	52.22	179.11	299.33
Non-resistor	47.06	151.15	257.29
56 Ω	48.89	163.07	266.52
100 Ω	50.53	171.21	281.08
510 Ω	52.49	176.34	299.93
1000 Ω	52.77	176.82	301.70

Tabel 4.20. Persentase error nilai rata-rata *zero crossing point* variasi resistor

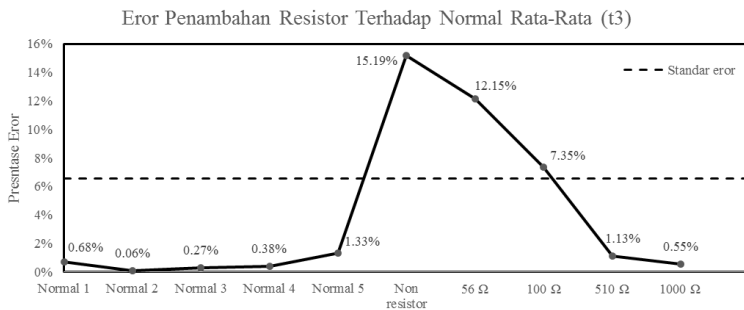
Variasi Resistor	Presentase error terhadap kondisi normal rata-rata		
	t1	t2	t3
Normal 1	3.27%	1.98%	0.68%
Normal 2	0.36%	0.17%	0.06%
Normal 3	1.07%	0.70%	0.27%
Normal 4	1.31%	0.58%	0.38%
Normal 5	2.14%	0.73%	1.33%
Non resistor	11.82%	15.00%	15.19%
56 Ω	8.39%	8.29%	12.15%
100 Ω	5.31%	3.72%	7.35%
510 Ω	1.64%	0.83%	1.13%
1000 Ω	1.11%	0.56%	0.55%



(a)



(b)

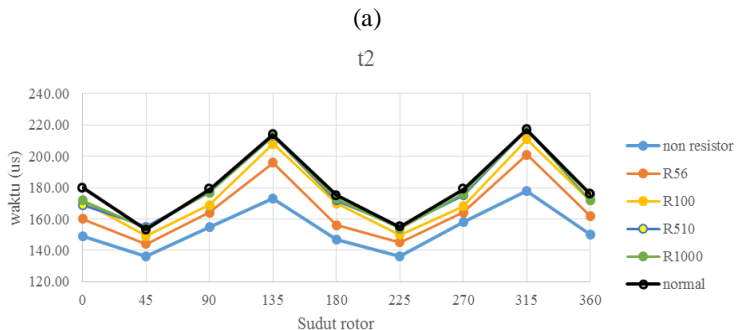
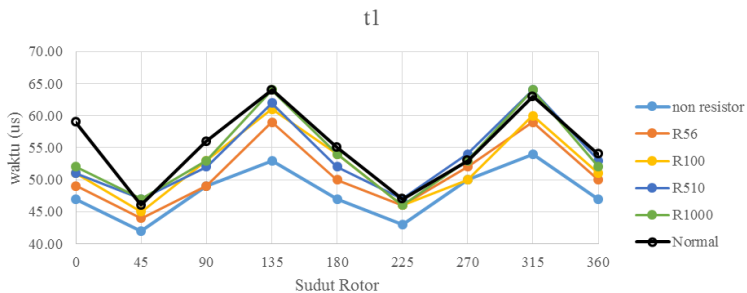


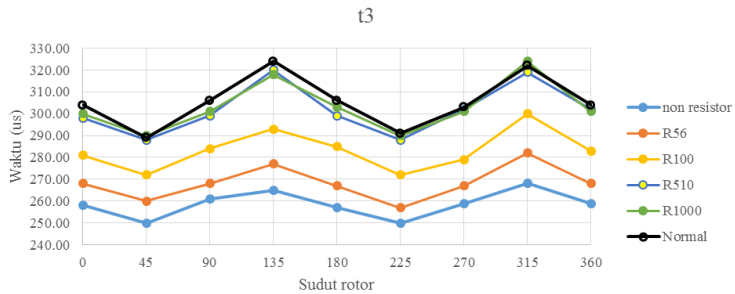
(c)

Gambar 4.20. Grafik persentase eror nilai rata-rata *zero crossing point* variasi resistor (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3

4.3.2. Hasil Nilai Maksimum Zero Crossing Point

Pada subsub bab ini dibahas hasil nilai maksimum *zero crossing point* t_1 , t_2 , dan t_3 penambahan resistor pada *turn fault* 5-40. Plot grafik nilai maksimum *zero crossing point* variasi resistor dapat dilihat pada gambar 4.21.. Gambar 4.21. menunjukkan nilai maksimum *zero crossing point* dengan penambahan resistor pada *turn fault* 5-40 mempunyai hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai maksimum *zero crossing point* *turn fault* 5-40 tanpa penambahan resistor. Nilai maksimum *zero crossing point* variasi resistor pada *turn fault* 5-40 semakin mendekati nilai maksimum *zero crossing point* kondisi motor normal seiring dengan penambahan resistor yang semakin besar. Untuk mengetahui presentase eror *zero crossing point* variasi resistor digunakan cara yang sama pada subsubsub bab 4.2.1.1. Hasil perata-rataan dan presentase eror *zero crossing point* dapat dilihat pada tabel 4.21., tabel 4.22., dan gambar 4.22..





(c)

Gambar 4.21. Plot grafik nilai maksimum *zero crossing point* penambahan resistor pada *turn fault* 5-40 dan normal (a) t₁ (b) t₂ (c) t₃

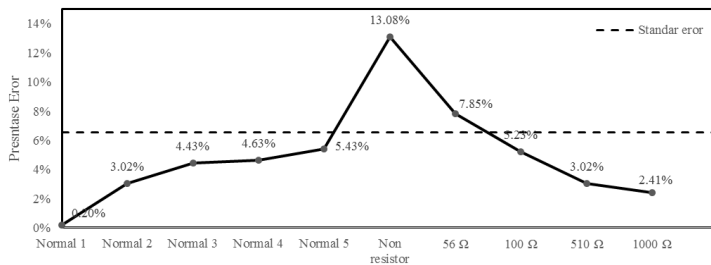
Tabel 4.21. Hasil perata-rataan nilai maksimum *zero crossing point* variasi resistor

Variasi Resistor	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
	t1	t2	t3
Normal maksimum	55.22	180.89	305.44
Normal 1	55.11	181.33	305.44
Normal 2	53.56	178.11	303.56
Normal 3	52.78	176.56	302.56
Normal 4	52.67	176.78	302.22
Normal 5	52.22	179.11	299.33
Non-resistor	48.00	153.56	258.56
56 Ω	50.89	165.78	268.22
100 Ω	52.33	174.22	283.22
510 Ω	53.56	178.78	301.67
1000 Ω	53.89	178.67	303.11

Tabel 4.22. Persentase eror nilai maksimum *zero crossing point* variasi resistor

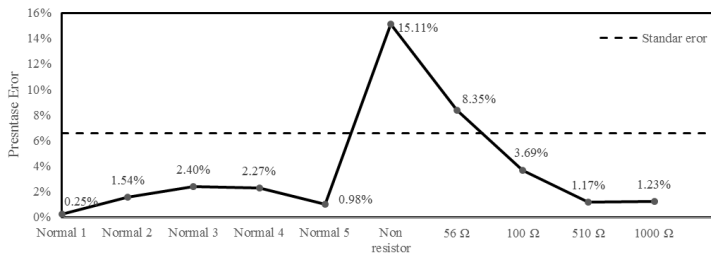
Variasi Resistor	Presentase eror terhadap kondisi normal (%)		
	t1	t2	t3
Normal 1	0.20%	0.25%	0.00%
Normal 2	3.02%	1.54%	0.62%
Normal 3	4.43%	2.40%	0.95%
Normal 4	4.63%	2.27%	1.05%
Normal 5	5.43%	0.98%	2.00%
Non resistor	13.08%	15.11%	15.35%
56 Ω	7.85%	8.35%	12.19%
100 Ω	5.23%	3.69%	7.28%
510 Ω	3.02%	1.17%	1.24%
1000 Ω	2.41%	1.23%	0.76%

Eror Penambahan Resistor Terhadap Normal Maksimum (t1)

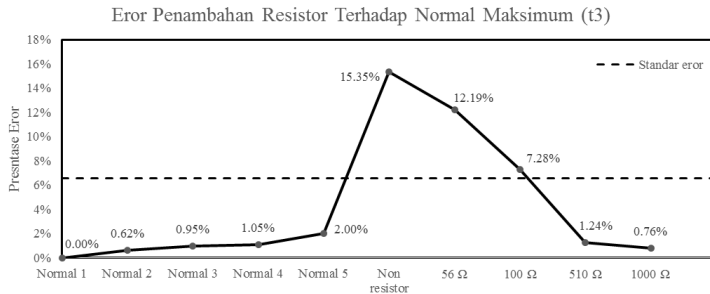


(a)

Eror Penambahan Resistor Terhadap Normal Maksimum (t2)



(b)



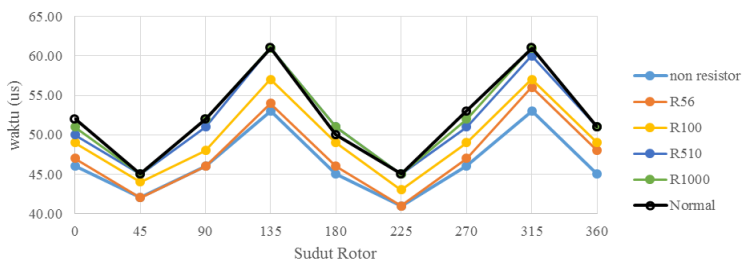
(c)

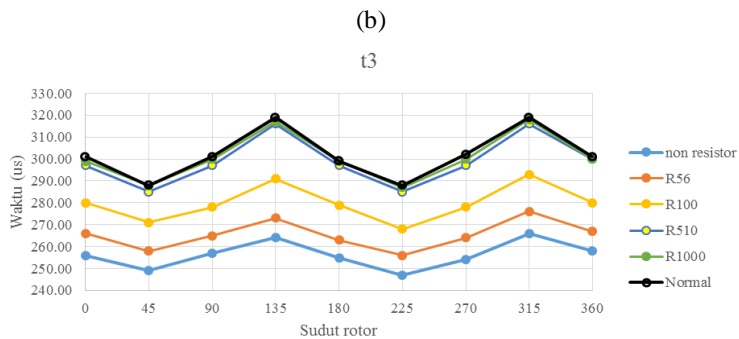
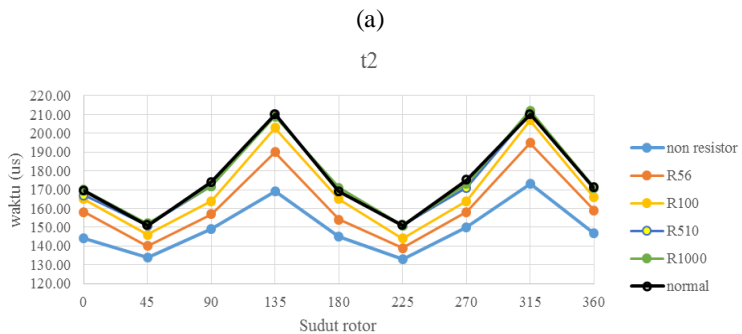
Gambar 4.22. Grafik persentase error nilai maksimum *zero crossing point* variasi resistor (a) t₁ (b) t₂ (c) t₃

4.3.3. Hasil Nilai Minimum *Zero Crossing Point*

Pada subsub bab ini dibahas hasil nilai minimum *zero crossing point* t₁, t₂, dan t₃ penambahan resistor pada *turn fault* 5-40. Plot grafik nilai minimum *zero crossing point* variasi resistor dapat dilihat pada gambar 4.23.. Gambar 4.23. menunjukkan nilai minimum *zero crossing point* dengan penambahan resistor pada *turn fault* 5-40 mempunyai hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai minimum *zero crossing point* *turn fault* 5-40 tanpa penambahan resistor. Nilai minimum *zero crossing point* variasi resistor pada *turn fault* 5-40 semakin mendekati nilai minimum *zero crossing point* kondisi motor normal seiring dengan penambahan resistor yang semakin besar. Untuk mengetahui presentase error *zero crossing point* variasi resistor digunakan cara yang sama pada subsubsub bab 4.2.1.1. Hasil perata-rataan dan presentase error *zero crossing point* dapat dilihat pada tabel 4.23., tabel 4.24., dan gambar 4.24..

t₁





(c)

Gambar 4.23. Plot grafik nilai minimum *zero crossing point* penambahan resistor pada *turn fault* 5-40 dan normal (a) t₁ (b) t₂ (c) t₃

Tabel 4.23. Hasil perata-rataan nilai minimum *zero crossing point* variasi resistor

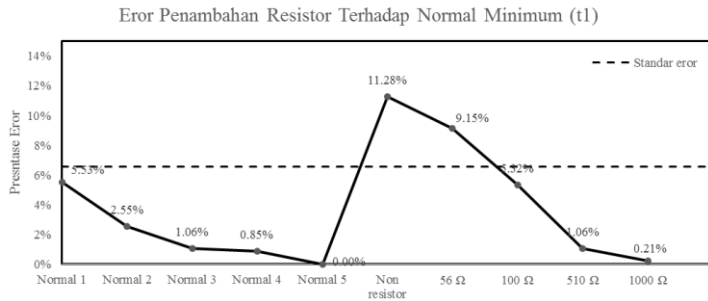
Variasi Resistor	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
	t ₁	t ₂	t ₃
Normal minimum	52.22	175.61	302.00
Normal 1	55.11	181.33	305.44
Normal 2	53.56	178.11	303.56
Normal 3	52.78	176.56	302.56
Normal 4	52.67	176.78	302.22

Tabel 4.23. Hasil perata-rataan nilai minimum *zero crossing point* variasi resistor (lanjutan)

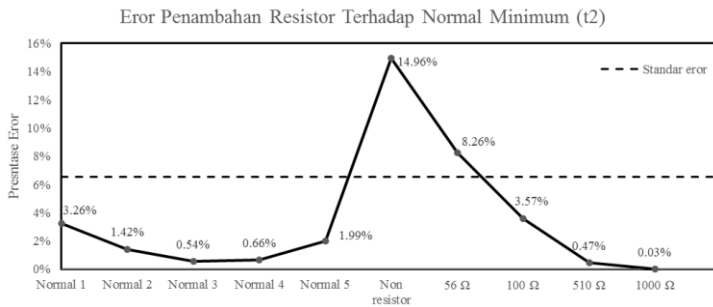
Variasi Resistor	Rata-rata <i>zero crossing point</i> keseluruhan sudut		
	t1	t2	t3
Normal 5	52.22	179.11	299.33
Non-resistor	46.33	149.33	256.22
56 Ω	47.44	161.11	265.33
100 Ω	49.44	169.33	279.78
510 Ω	51.67	174.78	298.89
1000 Ω	52.11	175.67	300.89

Tabel 4.24. Persentase eror nilai minimum *zero crossing point* variasi resistor

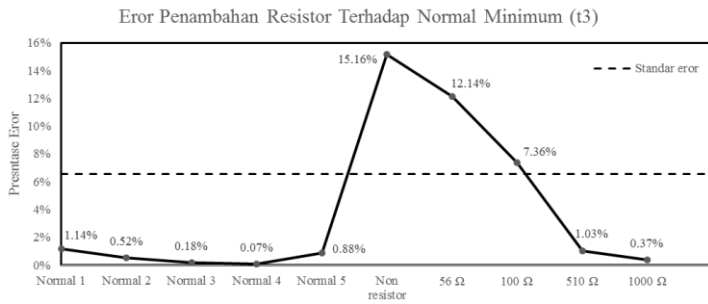
Variasi Resistor	Presentase eror terhadap kondisi normal maksimum (%)		
	t1	t2	t3
Normal 1	5.53%	3.26%	1.14%
Normal 2	2.55%	1.42%	0.52%
Normal 3	1.06%	0.54%	0.18%
Normal 4	0.85%	0.66%	0.07%
Normal 5	0.00%	1.99%	0.88%
Non resistor	11.28%	14.96%	15.16%
56 Ω	9.15%	8.26%	12.14%
100 Ω	5.32%	3.57%	7.36%
510 Ω	1.06%	0.47%	1.03%
1000 Ω	0.21%	0.03%	0.37%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.24. Grafik persentase eror nilai minimum *zero crossing point* variasi resistor (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3

4.3.4. Identifikasi Kerusakan Variasi Resistor pada *Turn Fault 5-40*

Subsub bab ini membahas identifikasi kerusakan hasil *zero crossing point* variasi resistor pada *turn fault 5-40*. Sebagaimana dituliskan pada sub bab 2.7. mengenai kriteria lulus tidaknya sebuah motor induksi berdasarkan presentase eror *zero crossing point* yang dihasilkan, standar eror yang digunakan pada pengujian ini adalah 6.56% . Hal ini berdasarkan jika dilihat dari presentase eror *zero crossing point* pada kondisi normal 1 sampai dengan 5 mempunyai nilai tersebahr 6.56% dari nilai rata-rata, maksimum, dan minimum. Hasil lulus dan tidaknya variasi *turn fault* dapat dilihat pada tabel 4.25..

Tabel 4.25. Hasil Lulus/Tidak Variasi Resistor (a) t_1 (b) t_2 (c) t_3

(a)

Variasi Turn	t_1			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
Non-Resistor	11.82%	13.08%	11.28%	<i>FAIL</i>
56 Ohm	8.39%	7.85%	9.15%	<i>FAIL</i>
100 Ohm	5.31%	5.23%	5.32%	<i>PASS</i>
510 Ohm	1.64%	3.02%	1.06%	<i>PASS</i>
1000 Ohm	1.11%	2.41%	0.21%	<i>PASS</i>

(b)

Variasi Turn	t_2			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
Non-Resistor	15.00%	15.11%	14.96%	<i>FAIL</i>
56 Ohm	8.29%	8.35%	8.26%	<i>FAIL</i>
100 Ohm	3.72%	3.69%	3.57%	<i>PASS</i>
510 Ohm	0.83%	1.17%	0.47%	<i>PASS</i>
1000 Ohm	0.56%	1.23%	0.03%	<i>PASS</i>

(c)

Variasi Turn	t3			Keterangan
	Rata-rata	Max	Min	
Non-Resistor	15.19%	15.35%	15.16%	FAIL
56 Ohm	12.15%	12.19%	12.14%	FAIL
100 Ohm	7.35%	7.28%	7.36%	FAIL
510 Ohm	1.13%	1.24%	1.03%	PASS
1000 Ohm	0.55%	0.76%	0.37%	PASS

Hasil pengujian pada t_1 , t_2 , dan t_3 menunjukkan bahwa semakin besar resistor yang digunakan pada *turn fault* 5-40 maka semakin besar nilai *zero crossing point* yang dihasilkan. Penambahan resistor yang semakin besar membuat nilai *zero crossing point* yang dihasilkan semakin mendekati nilai *zero crossing point* pada kondisi motor normal. Presentase eror nilai *zero crossing point* semakin kecil seiring dengan penggunaan resistor yang semakin besar. Penambahan resistor pada *turn fault* 5-40 bertujuan untuk menyimulasikan jika suatu *turn* memiliki kegagalan sebagian. Penggunaan besar resistor yang bertahap memiliki fungsi untuk melihat pada nilai resistansi berapa persentase eror *turn fault* masih dalam batas yang diperbolehkan yaitu 6.56%. Berdasarkan tabel 4.25. hasil *zero crossing point* pada t_1 , t_2 , dan t_3 menunjukkan variasi penggunaan resistor 56 ohm memiliki nilai eror diatas 6.56% sehingga masih dikategorikan kegagalan isolasi antar *turn*. Sedangkan untuk resistor 100 ohm memiliki presentase eror diatas 6.56% saat t_3 . Penggunaan resistor 510 ohm, dan 1000 ohm memiliki presentase eror dibawah 6.56% sehingga dapat dikategorikan tidak mengalami kegagalan isolasi antar *turn*.

Bab V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir yang berjudul Identifikasi Kerusakan Belitan Motor Induksi dengan Rotor Terpasang Berdasarkan *Zero Crossing Point* adalah sebagai berikut.

1. Respon tes surja pada belitan stator motor induksi dengan rotor terpasang memiliki hasil waktu *zero crossing point* yang berpola.
2. Pola waktu *zero crossing point* tersebut terulang sebanyak dua kali dalam satu putaran 360° untuk motor induksi 4 *pole*.
3. Pengaruh *turn fault* pada belitan stator dapat membuat nilai *zero crossing point* menjadi lebih kecil dibandingkan dengan kondisi motor normal.
4. Penambahan resistor pada suatu *turn fault* memiliki hasil waktu *zero crossing point* yang lebih besar daripada tanpa penambahan resistor, semakin besar nilai resistor maka waktu *zero crossing point* semakin mendekati nilai kondisi motor normal.
5. Presentase eror *zero crossing point* yang melebihi 6.56% dikategorikan sebagai kegagalan isolasi antar *turn*. Pada tugas akhir ini jika dilihat secara keseluruhan presentase eror *zero crossing point* pada t_1 , t_2 , dan t_3 semua variasi *turn fault* sudah dikategorikan dalam kegagalan isolasi antar *turn*. Sedangkan pada penambahan variasi resistor pada *turn fault* 5-40, pada penggunaan resistor 510 ohm dan 1000 ohm memiliki presentase eror di bawah 6.56% sehingga masih dalam batas yang diperbolehkan.

5.2. Saran

Saran yang penguji dapat berikan untuk tugas akhir ini sehingga pada penelitian selanjutnya mendapatkan hasil yang lebih baik antara lain.

1. Penggunaan alat akusisi data yang bisa menggunakan frekuensi sampling lebih besar dari 1MHz.
2. Penggunaan resistor yang lebih bervariasi untuk mengetahui batas kegagalan isolasi *turn fault*.
3. Membandingkan hasil *zero crossing point* motor induksi 4 *pole* dengan 2 *pole*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Gill, "Electrical Power Equipment Maintenance and Testing Second Edition." CRC Press. Taylor & Francis Group, 2009.
- [2] G. Wiedenbrug, G. Frey, and J. Wilson, "IMPULSE TESTING AND TURN INSULATION DETERIORATION IN ELECTRIC MOTORS." Conf. Rec. Annu. IEEE Pulp Paper Ind. Tech. Conf., pp. 50-55,, 2003.
- [3] T. Kang, S. Bin Lee, Y.-W. Yoon, D.-H. Hwang, and D. Kang, "The Influence of the Rotor on Surge PD Testing of Low Voltage AC Motor Stator Windings." IEEE Trans. Elect. Ins., vol. 20, pp. 762-769, 2013.
- [4] M. F. Anshori, "Desain Peralatan Diagnostik Motor Induksi Berbasis Tegangan Surja Untuk Mengetahui Pengaruh Rotor Terhadap Hasil Pengujian Tes Surja Menggunakan Metode Error Area Ratio(EAR))." Teknik Elektro, ITS, Jul-2017.
- [5] I. M. I Made, "Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasi Praktis", 1st ed., vol., vols. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [6] I. Standard 522, "IEEE Guide for Testing Turn Insulation of Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Electric Machines." The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Agustus-2004.
- [7] B. Baker, "AWA-Surge-test-passfail-criteria.pdf." SKF.
- [8] X. Huang, T. G. Habetler, and R. G. Harley, "The Effect of Induction Motor Rotor Eccentricity on Surge Test Data," *IEEE*.
- [9] S. Tegar, "Deteksi Kerusakan Insulasi Belitan AntarFasa pada Motor Induksi Menggunakan Tes Surja." Teknik Elektro, ITS, -.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Data sheet

Entube DE-HB

Specification Sheet for Verivolt Ultra-Compact, High-Bandwidth, Differential Voltage Sensor



OVERVIEW

The Entube-DE-HB series was designed to enable measurement of fast high voltage signals in industrial and research environments. The output of the Entube-DE-HB is a linearly scaled down version of the voltage difference between its two input terminals. This output can then be processed by a computer based measurement system. The Entube-DE-HB series covers multiple input dynamic ranges ($\pm 100\text{V}$, $\pm 200\text{V}$, $\pm 300\text{V}$, $\pm 400\text{V}$, $\pm 500\text{V}$, $\pm 750\text{V}$, $\pm 1000\text{V}$ and $\pm 1500\text{V}$) with a 20MHz bandwidth, and 0.2% accuracy.

In addition to multiple dynamic ranges, the Entube-DE-HB can be ordered to have a single-ended or a differential-pair output. The single-ended version has a BNC connector at the output, and can be ordered as $\pm 10\text{V}$, $\pm 5\text{V}$ or $\pm 1\text{V}$.

SPECIFICATIONS

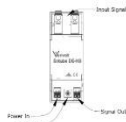
Entube DE-HB	100V	200V	300V	400V	500V	750V	1000V	1500V
Bandwidth (3dB point)	20MHz							
Integrated sensor noise (Referenced to output)	$< 380\text{ }\mu\text{V}$	$< 290\text{ }\mu\text{V}$	$< 350\text{ }\mu\text{V}$	$< 350\text{ }\mu\text{V}$	$< 350\text{ }\mu\text{V}$	$< 370\text{ }\mu\text{V}$	$< 650\text{ }\mu\text{V}$	$< 700\text{ }\mu\text{V}$
Gain (Using 50 Ω standard output voltage)	10	20	30	40	50	75	100	150
Input Impedance	2 M Ω 1pF		5M 1pF		10M Ω 1pF		20M Ω 1pF	40M Ω 1pF

Electrical	
Accuracy (percentage of reading)	$\pm 0.2\%$
Max total phase shift at 60kHz	$< 0.001^\circ$
Max Input delay	$< 20\text{ ns}$
Withstanding common mode surge voltage	4x Input Range for 0.1s surge voltage
Withstanding differential mode surge voltage	5x Input Range for 0.1s surge voltage
Mechanical	
Mounting Type	DIN Rail
Connectivity In	Spring cage
Connectivity Out	Spring cage / BNC
Outer Dimensions	3.6" x 2.4" x 1.4"
Weight	198 g (7.0 oz)

Performance	
Input-Output non-linearity	$< 80\text{ ppm}$
Output voltage	See notes
Gain temperature drift	$\pm 40\text{ ppm}/^\circ\text{C}$
Common mode rejection at 60Hz	82 dB
Power Supply Voltage	8V to 28V
Output type	Single-ended or differential pair
Output Offset Voltage	$< \pm 0.5\text{ mV}$ (on $\pm 10\text{V}$ signal)
Output impedance	50 Ω (-5), 100 Ω (-D)
Environmental	
Operating temperature	-0 to $70\text{ }^\circ\text{C}$
Storage temperature	-65 to $90\text{ }^\circ\text{C}$

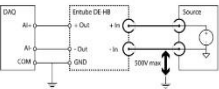
HARDWARE DESCRIPTION

The high voltage input signal connects to the sensor via two clamp cage connectors. Use appropriate wire jacket and gauge, as well as creepage distance. For superior noise immunity, it is recommended to use a twisted pair from the high voltage source to the input of the sensor.



Connections for Entube DE-HB

A spring cage connector is used to input power to the sensor. A single post screw terminal is used to ground the secondary side of the sensor. The signal out of the sensor comes in a BNC connector (single-ended version), or a spring cage connector (differential-pair version). If signal reflections are a concern, place the sensor as close as possible to the high voltage signal source, and use the appropriate cable and load termination. If using a digitizer with BNC inputs, use a 50 Ω coaxial cable and a 50 Ω terminating load at the digitizer end. If using a digitizer with differential inputs, use a 100 Ω twisted pair and a 100 Ω terminating load at the digitizer end.



The schematic on the figure above shows how to connect the Entube-DE-HB between the high voltage signal source and the digitizer.



- C.** On the primary side, connect the plus and minus signals. Use standard twisted pair.



• CE

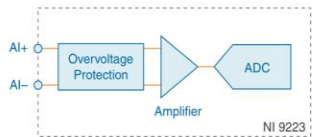


⚠ DANGER

THIS SENSOR IS NOT A SAFETY DEVICE AND IS NOT INTENDED TO BE USED AS A SAFETY DEVICE. This sensor is designed only to detect and read certain data in an electronic manner and perform no use apart from that, specifically no safety-related use. This sensor product does not include self-checking redundant circuitry, and the failure of this sensor product could cause either an energized or de-energized output condition, which could result in death, serious bodily injury, or property damage.



NI 9223 Input Circuitry



- Input signals on each channel are buffered, conditioned, and then sampled by an ADC.
- Each AI channel provides an independent signal path and ADC, enabling you to sample all channels simultaneously.

NI 9223 Specifications

The following specifications are typical for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to the AI- signal on each channel unless otherwise noted.



Caution Do not operate the NI 9223 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

Input Characteristics

Number of Channels	4 analog input channels
ADC resolution	16 bits
Type of ADC	Successive approximation register (SAR)
Input voltage ranges ¹ , Measurement Voltage (AI+ to AI-)	
Minimum ²	±10.5 V
Typical	±10.6 V
Maximum	±10.7 V
Overvoltage protection	±30 V
Maximum Sampling Rate	
CompactDAQ (NI-DAQmx)	1 MS/s

¹ Refer to the [Safety Voltages](#) section for more information about safe operating voltages.
² The minimum measurement voltage range is the largest voltage the NI 9223 is guaranteed to accurately measure.

CompactRIO

FPGA User-Controlled I/O Sampling ³	1 MS/s
FPGA I/O Nodes	350 kS/s

Table 1. Accuracy

Measurement Conditions		Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range ⁴ (Offset Error)
Calibrated	Maximum (-40 °C to 70 °C)	±0.20%	±0.10%
	Typical (23 °C ±5 °C)	±0.02%	±0.01%
Uncalibrated ⁵	Maximum (-40 °C to 70 °C)	±0.40%	±0.40%
	Typical (23 °C ±5 °C)	±0.20%	±0.10%

Stability

Gain drift	6 ppm/°C
Offset drift	29 µV/°C
CMRR ($f_{in} = 60$ Hz)	100 dB
-3 dB bandwidth ⁶	>1 MHz
Input impedance	>1 GΩ
Noise	0.75 LSB _{rms}
Total Harmonic Distortion (THD) (20 V _{pp} at 1 kHz)	-85 dB
Crosstalk (20 V _{pp} at 1 kHz)	-100 dB

Power Requirements

Power consumption from chassis

Active mode	1 W maximum
Sleep mode	5 mW maximum

³ FPGA User-Controlled I/O Sampling provides low level access to sample acquisition and transfer, and higher sample rates. Visit ni.com/info and enter the Info Code [samplerate](#) for information about FPGA User-Controlled I/O Sampling.

⁴ Range equals ±10.6 V.

⁵ Uncalibrated accuracy refers to the accuracy achieved when acquiring in raw or unscaled modes where the calibration constants stored in the module are not applied to the data.

⁶ -3 dB bandwidth for input amplitude at 10% of the input range.

Thermal dissipation (at 70 °C)

Active mode	1.3 W maximum
Sleep mode	430 mW maximum

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.



Tip For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit ni.com/dimensions and search by module number.

Screw-terminal wiring

Gauge	0.05 mm ² to 1.5 mm ² (30 AWG to 14 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	6 mm (0.24 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum
Torque for screw terminals	0.22 N · m to 0.25 N · m (1.95 lb · in. to 2.21 lb · in.)
Wires per screw terminal	One wire per screw terminal; two wires per screw terminal using a 2-wire ferrule
Ferrules	0.25 mm ² to 1.5 mm ²

Connector securement

Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.2 N · m (1.80 lb · in.)
Weight	
NI 9223 with screw terminal	138 g (4.9 oz)
NI 9223 with BNC	165 g (5.8 oz)

Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits:

Isolation

Channel-to-channel	
Continuous	60 VDC, Measurement Category I
Withstand	1000 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

Channel-to-earth ground	
Continuous	60 VDC, Measurement Category I
Withstand	1000 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



Caution Do not connect the NI 9223 to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.



Note Measurement Categories CAT I and CAT O are equivalent. These test and measurement circuits are not intended for direct connection to the MAINS building installations of Measurement Categories CAT II, CAT III, or CAT IV.

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (ATEX) and International (IECEx)	Ex nA IIC T4 Gc

Safety and Hazardous Locations Standards

This product is designed to meet the requirements of the following electrical equipment safety standards for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1
- EN 60079-0:2012, EN 60079-15:2010
- IEC 60079-0: Ed 6, IEC 60079-15; Ed 4
- UL 60079-0; Ed 5, UL 60079-15; Ed 3
- CSA 60079-0:2011, CSA 60079-15:2012



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

LAMPIRAN B

Program Arduino

```
int pin_out = 13;
int pin_out2 = 12;
void setup()
{
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin_out,OUTPUT);
  pinMode(pin_out2,OUTPUT);
  Serial.println("1. nyalakan saklar");
}
void lcd()
{
  Serial.println("1. nyalakan saklar");
}
void loop()
{
  unsigned int data;
  int coba;
  if(Serial.available()>0)
  {
    data=Serial.read();
    if(data==49)
    {
      Serial.println("saklar 1 nyala.....");
      digitalWrite(pin_out,HIGH);
      delay(5000);
      digitalWrite(pin_out,LOW);
      Serial.println("saklar 1 mati.....");
      digitalWrite(pin_out2,HIGH);
      Serial.println("saklar 2 nyala");
      delay(5000);
      digitalWrite(pin_out2,LOW);
      Serial.println("saklar 2 mati.....");
      lcd(); B-2  }}}}
```


Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Hanif Fakhruddin lahir pada tanggal 27 November 1996 di Jakarta Selatan. Terlahir dalam keluarga yang sederhana dan merupakan anak ke 2 dari 3 bersaudara. Riwayat pendidikan saya yaitu SDN Kramat Pela 09 Pagi, SMPN 19 Jakarta Selatan, SMAN 47 Jakarta Selatan, dan S1 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama mengenyam pendidikan di kampus ITS saya tidak hanya fokus pada bidang akademik saja, namun saya juga cukup banyak berkecimpung dalam bidang non akademik. Bidang non akademik yang saya ikuti selama di kampus yaitu olahraga, manajerial, dan seni. Bidang olahraga yang penulis ikuti yaitu bola voli. Berberapa prestasi sudah saya sumbangkan untuk Departemen Teknik Elektro diantaranya, juara I Festival Olympic Games cabang bola Voli oleh BEM FTI pada tahun 2015 dan 2016, juara II Piala Rektor Sepuluh Nopember oleh UKM Voli ITS pada tahun 2016 dan 2018. Bidang manajerial yang saya ikuti yaitu saya pernah menjadi staff Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS periode 2015/2016. Bidang seni yang saya ikuti yaitu saya tergabung dalam Unit Kegiatan Tari dan Karawitan (UKTK) ITS. Saya pernah menjadi staff di UKTK periode 2015/2016 dan diamanahi sebagai ketua umum UKTK untuk periode 2016/2017. Prestasi yang saya torehkan selama di UKTK yaitu sebagai peserta terbaik pada ajang Gebyar Festival Tari di Universitas Brawijaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan